SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Ausführliches Handbuch

der

PHOTOGRAPHIE

von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder**

o. em. Professor für Photochemie an der Technischen Hochschule in Wien, em. Direktor der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien, wirkl. Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Wien und der Kais. Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle a. S.

Dritter Band, vierter Teil

Dritte, gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage

Halle (Saale)
Verlag von Wilhelm Knapp
1930.

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Sensitometrie, photographische Photometrie und Spektrographie

(Die Schwärzungsgesetze photographischer Schichten, Normallichtquellen, Prüfung der Empfindlichkeit, Gradation des Spielraumes der Belichtung, des Kopierumfanges und der Bildschärfe. Sensitometrie der Röntgenstrahlen.)

von

Hofrat Dr. **Josef Maria Eder**

o. em. Professor für Photochemie an der Technischen Hochschule in Wien, em. Direktor der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien, wirkl. Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Wien und der Kais. Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle a. S.

Dritte, gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage

Mit 200 Abbildungen im Text und 11 Volltafeln

A 1u
0 331

Halle (Saale)
Verlag von Wilhelm Knapp
1930.

Wiss.-photogr. Institut
d. S. Techn. Hochschule
DRESDEN-A. 24, George-Bähr-Str. 1

zell mOO1 HAG PH2 / R2017 8 19563

544871 14

Sächsische Landesbibliothek -
Staats- und Universitätsbibliothek Dresden

1 .. MAI 2000

D - 00b - 3

Standort: 05, GPH

AP93400 E22-3.4 (3)

Copyright by Wilhelm Knapp, Halle (Saale)

2000.8.016735.001

VORWORT.

Die „Sensitometrie“ befaßt sich mit der Messung der Empfindlichkeit photographischer Platten. Diese ist für die Bestimmung der Belichtungszeit, für die Klassifizierung der Platten in Industrie und Handel, für die wissenschaftliche und angewandte Photographie von höchster Bedeutung. Allerdings umfaßt die Sensitometrie nicht nur die Messung der Empfindlichkeit, wie sie die Bestimmung des „Schwellenwertes“ mit sich bringt, sondern sie umspannt auch die Gradation der Lichtbilder, die graphische Darstellung der Schwärzungskurven und die Ableitung der photographischen Schwärzungsgesetze, die sich außerordentlich kompliziert erwiesen und zwar um so mehr, je eingehender man sich mit ihnen befaßte. Dazu kommt das Studium der Farbenempfindlichkeit, der Schleierbildung, des Auflösungsvermögens usw. Dadurch wurde die Sensitometrie, deren Anfänge bis in die Zeiten der Daguerreotypie zurückreichen, nach jahrzehntelangen Forschungen zahlreicher Photochemiker, Physiker und Vertreter der angewandten Photographie ein eigenes Wissensgebiet, das einen der Grundsteine des Gebäudes der wissenschaftlichen Photographie bildet und von größter Bedeutung für die photographische Praxis ist. Forscher aller Nationen befaßten sich mit diesem Thema, welches auch bei zahlreichen internationalen photographischen Kongressen bis in die neueste Zeit in Verhandlung gezogen wurde. Die Literatur hierüber ist enorm reichlich und in zahlreichen Fachzeitschriften aller Art zerstreut, die nicht leicht zugänglich sind. Ich selbst beteiligte mich aktiv an dem Ausbau der Sensitometrie, förderte ihre Anwendung im technischen Versuchswesen und verfolgte die Fortschritte auf diesem Gebiete. Während in früheren Auflagen meines „Ausführl. Handbuches der Photographie“ die Sensitometrie ein untergeordnetes Kapitel bei der Schilderung der photographischen Negativ- und Positivverfahren bildete, liegt nunmehr eine Monographie über das Gesamtgebiet der Sensitometrie als selbständiger Band vor. Die darin angegebenen Methoden der Messungen greifen auf das Gesamtgebiet der Photographie über. Da tunlichste Vollständigkeit angestrebt wurde, ist der Umfang des

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Buches gewachsen, aber die streng systematische Einteilung und die Behandlung des Stoffes machen wohl die Übersicht leicht.

Der spektralanalytischen Seite sowie der chemischen Analyse, welche auch zu meinem eigenen Arbeitsgebiet gehören, wurde besondere Beachtung zuteil, da sie einen unentbehrlichen Behelf für photochemische Untersuchungslaboratorien bilden.

Der Verlagsbuchhandlung W. Knapp bin ich für die reiche Ausstattung des Buches zu besonderem Dank verbunden.

Wien, Oktober 1929.

J. M. Eder.

INHALTSVERZEICHNIS.

Seite

Erstes Kapitel.

Überblick über die Geschichte der Sensitometrie, Geschichte der Sensitometrie photographischer Platten . . . . . 1—11

Zweites Kapitel.

Die Grundgesetze der photographischen Wirkung der Belichtung . . . . . 12—19

Grundsatz der photographischen Photometrie 16. — Nomenklatur in der Photometrie und Sensitometrie 17. — Bezeichnungen und Einheiten photometrischer Größen 18.

Drittes Kapitel.

Die Schwärzung photographischer Silberbilder. — Nomenklatur. — Deckkraft photographischer Schichten . . . . . 20—26

Allgemeines über die Dichte oder Schwärzung photographischer Schichten, Opazität und Dichte 20. — Nomenklatur der für die Schwärzung der photographischen Negative gebräuchlichen Größen 21. — Deckkraft der Silberniederschläge in Negativen oder Diapositiven 24.

Viertes Kapitel.

Schwellenwert, Gradation und die Hauptperioden der Lichtwirkung auf photographische Schichten. — Mitteltöne in der Sensitometrie . . . . . 27—36

Der Schwellenwert photographischer Schichten 27. — Verlauf der progressiven Schwärzung im Anschluß an den Schwellenwert 32. — Angabe der Empfindlichkeit auf Grund mittlerer Schwärzungen 33. — Gradation 35. — Zone der Unterexposition, Normalexposition, Überexposition, normale Zone, Solarisation 35.

Fünftes Kapitel.

Graphische Darstellung des Zusammenhanges der Lichtintensität oder Exposition mit der photographischen Schwärzung. — Die Schwärzungskurven. — Die Gradation, das Gamma und der Entwicklungsfaktor. — Inertia . . . . . 37—83

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Die Schwärzungskurve 37. — Graphische Darstellung des Zusammenhanges des Gamma mit der Exposition und der Entwicklungszeit 46. — Entwicklung von Bromsilberpapieren bis Gamma — unendlich 54. — Bedeutung der Hauptzonen der Schwärzungskurve für die angewandte Photographie 57. — Spielraum der Belichtung 59. — Die Schwärzungsvorgänge im Gebiete der Normal- und der Unterexposition 60. — Die Schwärzungsvorgänge im Gebiete der normalen Exposition. 62. — — Abweichender Verlauf der Schwärzungskurve und der Gradation bei Veränderung der Lichtintensität und bei extrem langer Entwicklung bis zur Maximalschwärzung 64. — Maximale Schwärzung 66. — — Zusammenhang zwischen Lichtintensität und Schwärzung bei völliger Durchentwicklung einer Bromsilberemulsion 66. — Charakteristische Kurve und Anomalien bei der Entwicklung photographischer Schichten (von Dr. S. E. Sheppard) 73. — Schwärzungskurven abnorm silberarmer Emulsionen 83.

Sechstes Kapitel.

Photographische Kopierpapiere und Diapositive. — Silber-, Chromat- und Diazotyppapier. — Kopierumfang und Bildkontrast im Negativ- und Positivverfahren . . . . . 84—123

Schwärzungserscheinungen photographischer Papierbilder im reflektierten Lichte 84. — Mögliche Schwärzungsabstufungen von Silberbildern in der angewandten Photographie, Maximalschwärzungen 87. — Vergleich der Schwärzung einer auf Glas aufgetragenen Emulsionsschichte im durchfallenden Lichte (als Diapositiv) und die Schwärzung im reflektierten Lichte mit hinterlegten weißen Schichten 88. — Schwellenwert, Gradation und Maximalschwärzung 90. — Veränderung des Schwellenwertes und der Gradation beim Fixieren 92. — Angaben des Umfanges des Kopiergrades durch den Logarithmus der Exposition für die Maximalschwärzung und die Inertia des Papieres 94. — Die Schwärzungskurve von photographischen Papierbildern 97. — Entwicklungsdauer von Papieren im Zusammenhang mit der Gradation 101. — Der Spielraum der photographischen Entwicklungspapiere 102. — Sensitometrische Bezeichnungen für die richtige Wiedergabe von Negativen und Positiven. Detailwiedergabe in Aufsichtsbildern 103. — Messung des Lichteffektes auf Chromat-Gelatine (Pigmentpapier usw.) 104. — Der Bildkontrast bei photographischen Kopierpapieren 106. — Grundlegende Begriffe und psychophysikalische Gesetze 107. — Der Kontrast in einem aus zwei Teilen bestehenden Objektsfeld 107. — Der objektive Kontrast in einem aus vielen Teilen bestehenden Objektsfeld 197. — Der subjektive Kontrast in einem aus vielen Teilen bestehenden Objektsfeld 108. — Wie kommt der Kontrast auf den photographischen Materialien zum Ausdruck? 109. — Die Grundlagen der sensitometrischen Meßmethode 112. — Die Grundlagen der statistischen Methode 114. — Die Theorie der Helligkeitswiedergabe 116. — Die statistische Methode 116. — Die Bestimmung des Kontrastes auf Grund der sensitometrischen und statistischen Versuchsdaten 121.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Siebentes Kapitel.

Normalpapiere für Photometrie und Sensitometrie von Auskopierpapieren . . . . . 124—130
Chlorsilbernormalpapier 123. — Zelloidinpapier 126. — Bromsilbergelatine für Normalauskopierpapier 126. — Chromatpapiere 128. — Diazotyppapiere als Normalpapiere für Photometrie 129.

Achtes Kapitel.

Funktion des Entwicklers in der Sensitometrie. — Normalentwickler . . . . . 131—151
Normaltemperatur der Entwicklerlösungen 131. — Einfluß des Entwicklers auf den Schwellenwert 131. — Verwendungsart der Entwickler 133. — Einfluß des Entwicklungsvorganges auf Schwellenwert und Gradation 133. — Einfluß der Art des Entwicklers auf die Gradation und die Maximalschwärzung 134. — Normalentwickler für Sensitometrie 137. — Normaler Metol-Hydrochinon-Entwickler zur Prüfung von photographischen Porträt- und Landschaftsplatten 137. — Physikalische Entwicklung nach dem Fixieren 139. — Paramidophenol-Entwickler für Sensitometrie 139. — Pyrogallol-Entwickler 140. — Eders Normal-Entwickler mit Eisenoxalat 141. — Saurer Amidol-Entwickler 142. — Entwicklungs-Geschwindigkeit 142. — Einfluß eines Zusatzes von Bromiden zum Entwickler auf die Inertia und Entwicklungs-Geschwindigkeit 143. — Einfluß der Verdünnung des Entwicklers 144. — Zusammenhang der Körnigkeit von Bromsilbergelatine-Negativen mit der Art der Entwicklung und den sensitometrischen Konstanten, besonders dem Gamma 145. — Änderung der Schwärzungskurve durch Zusatz von Farbstoffen im Entwickler 147. — Sensitometrische Prüfung der Wirkungsweise von verschiedenen Entwicklern 148. — Der Nachbareffekt oder die seitliche Ausdehnung des Bildes während der Entwicklung 149. — Einfluß des Nachbareffektes auf die Bestimmung der Schwärzungskurve 150. — Wirkung von Desensibilisatoren 150.

Neuntes Kapitel.

Mathematische Darstellung der Schwärzungsvorvorgänge im Zusammenhange mit der Entwicklungsdauer . . . . . 152—154

Zehntes Kapitel.

Messung des Schleiers und seine Korrektur bei Schwärzungsmessungen, Einfluß der Vorbelichtung oder eines latenten Schleiers auf die Empfindlichkeit und Gradation . . . . . 155—170
Messung eines Schleiers photographischer Platten 155. — Schleierkorrektion bei der Bestimmung der photographischen Schwärzungsmessungen 158. — Einfluß der Vorbelichtung oder eines latenten Schleiers auf die Empfindlichkeit und Gradation 160.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Elftes Kapitel.

Der photochemische Temperaturkoeffizient . . . 171—173
Temperaturkoeffizient für die Belichtung der Bromsilbergelatineplatte 171. — Temperaturkoeffizient bei den Entwicklungsvorgängen photographischer Schichten 172.

Zwölftes Kapitel.

Die photographischen Schwärzungsgesetze von Schwarzschild, Kron und anderen. — Der Intensitätsfaktor. — Schwärzungsflächen in geometrischer Darstellung . . . . . 174—210
Gesetze der intermittierenden Belichtung 174. — Das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz von der Formel $J \cdot t^p$ und $J^q \cdot t$ 174. — Die Schwarzschildsche Formel $J \cdot t^p$ im Schwärzungsgesetz 177. — Bestimmung des Schwarzschildschen Exponenten p 178. — Veränderlichkeit des Schwarzschildschen Exponenten p mit der Lichtintensität. — Einfluß von Bromakzeptoren 181. — Einfluß des Intensitätsfaktors auf die Solarisation des Bromsilbers 184. — Einfluß des Insitätsfaktors bei der Belichtung des Jodsilbers 185. — Abhängigkeit des Schwarzschildschen Exponenten p von der Wellenlänge des Lichtes 186. — Die Schwarzschildsche Formel $J^q \cdot t$ im Schwärzungsgesetz 188. — Das Kronsche Schwärzungsgesetz 190. — Untersuchungen über das Kronsche Schwärzungsgesetz von L. A. Jones, E. Huse und V. C. Hall und Transformation des Kronschen Schwärzungsgesetzes 195. — Das photographische Schwärzungsgesetz von Hugo Maria Kellner 200. — Über die Darstellung von Schwärzungsflächen photographischer Schichten in geometrischer Darstellung durch Arens und Eggert 202. — Die Gesetze der intermittierenden Belichtung photographischer Platten 203.

Dreizehntes Kapitel.

Untersuchung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten. — Spektrumphotographie. — Abhängigkeit der Empfindlichkeit und Gradation von der Wellenlänge des Lichtes . . . . 211—264
Wellenlängen der farbigen Zonen und der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum 211. — Spektrographie zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten und Lichtfilter 212. — Einfache Spektrographen mit geradsichtigen Prismensätzen 213. — Gitterspektrographen 223. — Spektrographen für Serienaufnahmen und mit Keilspalt 229. — Konkavgitter 230. — Fluorit-Vakuum-Spektrograph 231. — Abhängigkeit der Empfindlichkeit photographischer Schichten von der Wellenlänge des Lichtes. — Blauempfindliches Bromsilber. — Herstellung reiner Bromsilbergelatine. — Jodbrom- und Bromchlorsilber. — Chlorsilber 231. — Herstellung einer reinen Bromsilbergelatine mittlerer Empfindlichkeit als Standard für sensitometrische

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Untersuchungen 231. — Tabelle der spektralen Empfindlichkeit von Silberhaloiden und von verschiedenen Sensibilisatoren auf Bromsilber im Sonnenspektrum 238. — Spektrometrische Prüfung von Sensibilisatoren mit Chlorsilbergelatine und Bromsilberkollodium 243. — Typische Beispiele der Farbenempfindlichkeit einiger derzeit (1927) fabrizierter Gelatinetrockenplatten 243. — Verlauf der Empfindlichkeit photographischer Platten im Sonnenspektrum, berechnet auf die gleichmäßige Verteilung der Energie in demselben 245. — Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge (Farbe) des Lichtes 246. — Besprechung des besonderen Verhaltens verschiedener Emulsionssorten. — Gewöhnliche blauempfindliche Bromsilbergelatineplatten, Jod- und Chlorsilberplatten 249. — Orthochromatische Platten 254. — Panchromatische Platten 257. — Veränderlichkeit des Gamma bei Aufnahme hinter farbigen Lichtfiltern in der farbigen Photographie 259. — Zusammenfassung 264.

Vierzehntes Kapitel.

Verwendung von Lichtfiltern. — Trockene Gelatinefilter und Flüssigkeits-Lichtfilter. — Bestimmung des Sensibilisierungsfaktors mit Lichtfiltern. — Farbensensitometrie mit farbigen Lichtfiltern, Reduktion auf Lichtfilter von idealem Transmissionsvermögen. — Tageslichtlampen für industrielle Zwecke. — Durchlässigkeit für Ultraviolett . . . . . 265—301

Lichtfilter mit spektraler gleichmäßiger Dämpfung des Lichtes 266. — Selektive Lichtfilter, Dämpfungsfilter, Kontrastfilter, Filterfaktor oder Verlängerungsfaktor 266. — Transmission von farbigen Glasplatten 269. — Flüssigkeits-Lichtfilter 270. — Teilung der Strahlung einer Normallichtquelle durch blaue und gelbe Lichtfilter in zwei Zonen, zwecks Messung der gesamten Farbensensibilisierung im optisch hellen Spektrum 270. — Farbige Gelatine-Trockenfilter und ihre Umrechnung auf ideale Transparenz 273. — Bestimmung der verschiedenartigen Transparenz von flüssigen und trockenen Lichtfiltern. — Der Sensibilisierungsfaktor 276. — Grüne und violette Flüssigkeitsfilter 279. — Einfluß der Lichtintensität (Exposition) auf die Breite des Transmissions-Spektrums der Lichtfilter 280. — Verwendung von Dreifarben-Lichtfiltern zur sensitometrischen Plattenprüfung 281. — Zerlegung des Spektrums in zehn oder sechs schmale Zonen durch Gelatinefilter 283. — Lichtfilter für Aerophotographie 284. — Filter zur Überführung von Normallicht in die Energieverteilung von mittlerem Mittagssonnenlicht 285. — Synthetisches weißes Licht. — Tageslichtlampen für graphische Zwecke 285. — Tageslichtlampen für industrielle Zwecke 285. — Durchlässigkeit verschiedener Medien für Ultraviolett 296. — Ultraviolett durchlässiges Glas für Fenster von Wohnräumen und Sanatorien 300.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Fünfzehntes Kapitel.

Reflektierende Flächen in der Sensitometrie. — Weiße Flächen. — Farbentafeln . . . . . 302—320
Reflektierende weiße Flächen 302. — Verhalten von Pigmentfarben bei photographischen Aufnahmen; ihr Reflexionsvermögen 304. — Sensitometrie mit Farbtafeln 308.

Sechzehntes Kapitel.

Allgemeines über Normallichtquellen. — Farbtemperatur. — Sonnenstrahlen und Solarkonstante. — Übergang von einer Lichtquelle auf die andere. — Filterung von Normallicht . . . . 321—352
Die grundlegenden Eigenschaften der Normallichtquellen 321. — Die Farbenverteilung in verschiedenen Lichtquellen, Strahlungsgesetze, Farbtemperatur 324. — Die Farbtemperatur verschiedener Lichtquellen 327. — Die Energieverteilung im Sonnenspektrum und die Solarkonstante 331. — Das konventionelle mittlere Mittags-Sonnenlicht als Standard, die Energieverteilung in seinem Spektrum und ihre graphische Darstellung 333. — Spektrometrische Emissionskurve 333. — Relative Energie im Spektrum des Mittagssonnenlichtes 324. — Himmelslicht in der Landschaftsphotographie und der Trübungsfaktor 335. — Konventionelles mittleres Mittags-Sonnenlicht = 5000° absolut als Normale für die Sensitometrie 338. — Überführung des elektrischen Glühlichtes von der Farbtemperatur 2360° absolut in die Farbenverteilung des mittleren Mittags-Sonnenlichtes. Filterung von Normallicht 339. — Überführung des normalen Azetylenlichtes in die Energieverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes 342. — Lichtfilter zur Umwandlung von Lichtquellen mit der Farbtemperatur 2600 und 3000° absol. in die Energieverteilung des Sonnenlichtes 342. — Überführung des Normal-Magnesiumlichtes in die Farbenverteilung des Standard-Sonnenlichtes 346. — Filterung des elektrischen Bogenlichtes mit Reinkohle 347. — Kerzenlicht als Einheitslichtquelle. Hefnerkerze, Azetylen 348. — Die Pentanlampe verglichen mit Azetylenlicht 349. — Übergang von einer Lichtquelle zu einer anderen 349.

Siebzehntes Kapitel.

Die relative Aktinität der Lichtquellen . . . . . 353—359
Allgemeines über die relative Aktinität der Lichtquellen 353. — Die relative Aktinität verschiedener Lichtquellen und ihre praktische Bedeutung 353. — Photographischer Vergleich des Kerzenlichtes mit Bogenlicht oder Magnesiumlicht 358.

Achtzehntes Kapitel.

Die vier Klassen der in der Sensitometrie gebräuchlichen Normallichtquellen . . . . . 360—382
I. Klasse: Die Normalkerzen, Die Amylazetatlampe (Hefnerkerze) 361. — Die englische Walratkerze 364. — Die Scheinersche Benzinlampe

Seite

365. — II. Zweite Klasse, Azetylenlicht 366. — Elektrische Glühlampen 369. — Dritte Klasse, Magnesiumlicht 371. — Spektrale Zusammensetzung des Magnesiumlichtes 375. — Praktische Verwendung des Magnesiums als Lichtstandard 375. — Beziehungen des Magnesiumlichtes zum Tageslicht und elektrischem Bogenlicht 377. — Elektrisches Bogenlicht als Standard 378. — Eichung der standardisierten Lichtquellen und der Sensitometer 380.

Neunzehntes Kapitel.

Allgemeine Einteilung der Sensitometer in solche mit Intensitäts- oder mit Zeitskala und mit intermittierender Belichtung. — Skalenwert . . 383—392
Kontinuierliche und stufenförmige Schwärzungsskalen. Bestimmung des Skalenwertes 387. — Skalenwert der Sensitometer 388. — Berücksichtigung der Farbenempfindlichkeit 390. — Visuelle und photographische Helligkeit 391. — Zusammenfassung 391.

Zwanzigstes Kapitel.

Gebräuchliche Arten der Sensitometer . . . . . 393—461
Sensitometer mit Intensitätsskalen. Ältere Skalenphotometer 393. — Keilphotometer, Stolze-Goldbergs Graukeil mit Tusche-Gelatine, Eder-Hechts Graukeil-Sensitometer mit Farbskalen 393. — Der Stolze-Goldbergsche Gelatinegraukeil 394. — Eder-Hechts Graukeilsensitometer mit Farbskala (Farbensensitometer) und verschiedene Formen der Graukeil-Photometer 398. — Die Belichtung der Platten im Sensitometer 403. — Die Entwicklung der Sensitometerproben 404. — Die Ablesung der Sensitometeranzeigen. Schwellenwert, Gradation, Farbenempfindlichkeit 405. — Vergleichung der Skalenwerte des Eder-Hecht-Sensitometers, des Scheiner-Sensitometers, der wirkenden Meter-Kerzen-Sekunden und der Hurter-Driffieldschen Empfindlichkeitszahlen 408. — Prüfung farbenempfindlicher Platten 409. — Vergleichung der Sensitometeranzeigen bei Hefnerlicht, Magnesiumlicht und Tageslicht ohne Vornahme einer Korrektur 412. — Umrechnung der hinter den farbigen Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers gefundenen relativen Farbenempfindlichkeiten in wahre Farbenempfindlichkeiten bezogen auf ideal transparente Lichtfilter 415. — Übersichtliche Darstellung der Empfindlichkeit photographischer Platten 419. — Sensitometrie farbenempfindlicher Platten bei verschiedenen Lichtquellen 424. — Sensitometrische Prüfung der in der Reproduktionsphotographie verwendeten Bromsilberkollodien 425. — Untersuchung, wie der Farbensensibilisator die Blau-Empfindlichkeit beeinflußt. Hypersensibilisierung 426. — Sensitometrische Prüfungen bei einer elektrischen Glühlampe mit Tageslichtfilter 428. — Sensitometrische Prüfung von Auskopierpapieren 429. — Zusammenfassung der Verwendbarkeit des Graukeil-Sensitometers 429. — Eder-Hechts Kopierphotometer zur Kontrolle der richtigen Kopierzeit in der photographischen Praxis 431. — Das

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Dauer-Graukeil-Photometer Eder-Hecht für wissenschaftliche Zwecke mit der Keilkonstante 0,3 und 16 cm Länge 432. — Graukeil-Photometer mit der Keilkonstante 0,4 und verlängerter Skala 436. — Dünne Graukeile mit der Keilkonstante 0,188 436. — Verwendung des Graukeils im Eder-Hecht-Sensitometer zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papieren auf ihre Verwendbarkeit zum Druck von Halbtonbildern mittels Autotypie in der Buchdruckpresse und Kupferdruckschnellpresse 436. — Röhrenphotometer 440. — Sensitometer mit intermittierender Belichtung. Scheiner-Sensitometer 444. — Reduktion von Scheinergraden auf Grade eines Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometers 451. — Sensitometer mit kontinuierlicher Zeitskala — nicht intermittierend 452. — Spezial-Sensitometer zur Bestimmung der Kopierzeit für Kinematographie 457. — Watkins und Wynnes Standards zur Empfindlichkeitsmessung einer Platte 458. — Die Spektral-Sensitometrie. — Photometer im Ultraviolett 458.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Apparate zur Schwärzungsmessung. — Densometer und Densographen. Abhängigkeit der Dichte und Kopiergradation von der Zerstreuung des Lichtes. — Selbstregistrierende Photometer . 462—508

Martens Schwärzungsmessung mittels eines Polarisationsphotometers und ähnliche Densometer 463. — Densometer mit Graukeilen (photographischem Silberkeil) von Hartmann 465. — Dichtemessungen im diffusen und im gerichteten Licht 465. — Kopierdichte. — Projektionsdichte 469. — Einfluß der Diffusion des Lichtes auf die Kontraste der erhaltenen Kopien nach demselben Negativ 470. — Hartmanns Mikrophotometer 471. — Der Densograph von Goldberg und andere derartige Dichtemesser 475. — Andere Formen des Densographen 483. — Bestimmung der Schwärzungskurve und des Entwicklungsfaktors „Gamma“ ohne Meßapparate 488. — Schwärzungsmesser für photographische Papiere. Messung des Papierglanzes 490. — Photoelektrischer Meßapparat nach Kohl 495. — Selbstregistrierende Mikrophotometer 497.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Sensitometrie der Lichthofbildung, Irradiation, Bildschärfe und des Auflösungsvermögens . . 509—530

Untersuchung der Lichthofbildung 509. — Diffusionslichthof 510. — Reflexionslichthöfe 511. — Formulierung der Reflexionslichthöfe 512. — Prüfung einer photographischen Platte auf Reflexionslichthöfe 514. — Verschiedene Widerstandskraft von Emulsionen gegen Lichthöfe. — Bestimmung des Schwellenwertes der Reflexionslichthöfe 515. — Experimentelle Durchführung der Prüfung auf Lichthoffreiheit 517. — Auflösungsvermögen, Prüfung der Bildschärfe 520.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Seite

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Die Solarisationserscheinungen im Zusammenhange mit der Sensitometrie . . . . . 531—539
Solarisation im Spektrum 533. — Herschel-Effekt 536.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Vollständige Darstellung der Beschaffenheit und der Eigenschaften von Silberhaloid-Emulsionen und Beispiele des Prüfungsganges . . . . . 540—564
Chemische und physikalische Untersuchung der Emulsionsschichten 540. — Die Struktur und Zusammensetzung von Bromsilbergelatineplatten, Filmen und Diapositivplatten 540. — Die Analyse von photographischen Emulsionen 544. — Messung der Dicke und Gleichmäßigkeit der Emulsionsschichte 549. — Untersuchung der Bromsilbergelatine-Emulsionen auf „Ursilber“ und „Photo-Silber“ 550. — Analyse von kleinen Jodmengen 553. — Untersuchung der Korngröße des Silberhaloids in Emulsionen 553. — Prüfung der Oberfläche auf Gleichmäßigkeit und Reinheit 553. — Prüfung auf Haltbarkeit 554. — Komplette Darstellung der Eigenschaften photographischer Emulsionen 554. — Beispiele über den Befund und Beurteilung der Prüfungsergebnisse von Bromsilbergelatineplatten 556. — Kurzer Gang der orientierenden sensitometrischen Prüfung photographischer Platten für Amateure und kleine photographische Betriebe 560. — Spektrographische Prüfung 563. — Zulässige Fehlerweite oder Toleranz in der praktischen Sensitometrie 563.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die sensitometrische Prüfung der Eignung von Farbstoffen als Sensibilisatoren und Desensibilisatoren . . . . . 565—570
Sensitometrie der Desensibilisierung 568.

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Sensitometrische Untersuchung der Tonaufzeichnung in photographischer Dichteschrift . . . 571—572

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Schwärzungsvorgänge bei der Photographie mit Röntgenstrahlen . . . . . 572—580
Internationale Röntgeneinheit 579.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Nachtrag . . . . . 581—586
Illustrations-Tafeln . . . . . 584—585
Namenverzeichnis 587
Sachverzeichnis 593
Druckfehlerverzeichnis 612

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft
DFG

ERSTES KAPITEL.

ÜBERBLICK ÜBER DIE GESCHICHTE DER SENSITOMETRIE.

Geschichte der Sensitometrie photographischer Platten[1]).

Die Sensitometrie ist so wichtig für die praktische und wissenschaftliche Photographie geworden, daß ein kurzer Rückblick auf ihre Entwicklungsgeschichte von Interesse sein dürfte.

Die Prüfung der Lichtempfindlichkeit photographischer Platten war schon zur Zeit der Daguerreotypie ein Bedürfnis; sie wurde empirisch vorgenommen, indem man untersuchte, wie lange man eine zu prüfende Platte belichten muß, um annähernd denselben Effekt wie mit der Standardplatte zu erreichen. Dieses Verfahren ist noch heute in der photographischen Praxis gebräuchlich, um die relative Empfindlichkeit des Photomaterials abzuschätzen.

Den ersten Belichtungsmesser dieser Art beschrieb L. Lewandowsky (1843) für das Daguerreotypieverfahren[2]). Er war damals Hörer am k. k. polytechnischen Institut in Wien, beschäftigte sich mit Daguerreotypie und beschrieb im Jahre 1843 seinen „Bejodungs- und Belichtungsmesser für die Daguerreotypie". Er empfahl täglich zu Arbeitsbeginn eine Probeaufnahme mit einer stufenweise steigend jodierten Silberplatte zu machen und diese Platte in der Kamera stufenweise (die Jodierung kreuzend) zu belichten. Auf einer solchen Platte ließ sich leicht das beste Verhältnis zwischen Jodierung und Belichtungszeit ablesen. Eine hierfür geeignete Kassette wurde vom Optiker Prokesch in Wien gebaut und verkauft.

Einen genaueren Meßapparat für die Empfindlichkeit von Daguerreotypplatten konstruierte wohl als erster der bekannte französische Forscher Claudet im Jahre 1848. Er nannte ihn „Photographometer" und veröffentlichte hiermit im Sinne unserer Nomenklatur das erste Sensitometer; dasselbe hatte eine Zeitskala (Philosophical Magazin 1848, S. 329). Claudet bedeckte die

1) Nach einem Berichte von J. M. Eder in der „Camera" (Luzern) 1928, VII.
2) Darüber berichtete Stenger in Phot. Korresp. 1928, S. 22.

Daguerreotypplatte oder je zwei derselben mit einer durchlochten dünnen Metallplatte und belichtete sie durch Vorbeiziehen einer mit verschieden langen Schlitzen (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 mm) versehenen Deckplatte. So konnte man die relativen Expositionszeiten genau angeben, welche zur Erzeugung eines photographischen Bildes erforderlich waren. Der Apparat war nicht nur für die Bestimmung der Empfindlichkeit von photographischen Platten, sondern auch zur Messung der Aktinität verschiedener Lichtquellen bestimmt[1]).

Abb. 1 und 2 veranschaulichen die Einrichtung des Claudetschen „Photographometers".

Einen analogen Vorgang hielt später der Astronom Janssen bei der Untersuchung von Bromsilbergelatineplatten ein (1881), indem er eine mit einem dreieckigen Ausschnitt versehene Metallplatte vor der lichtempfindlichen Schicht vorbeiführte (Phot. Wochenbl. 1881. S. 211). Ähnliche Versuche mit Zeitskalen folgten später mehrfach.

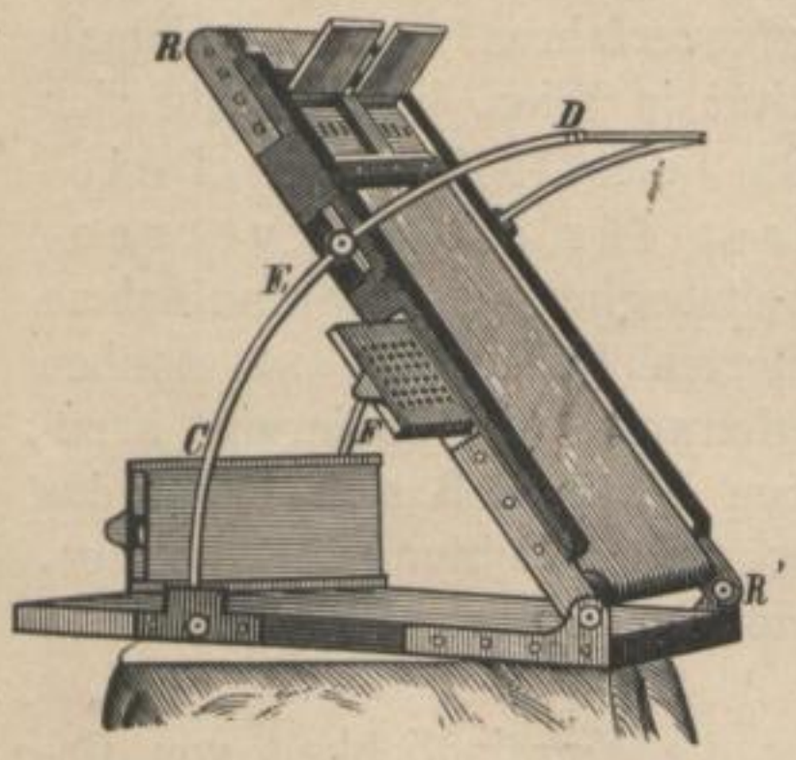


Abb. 1. Claudet, Photographometer.

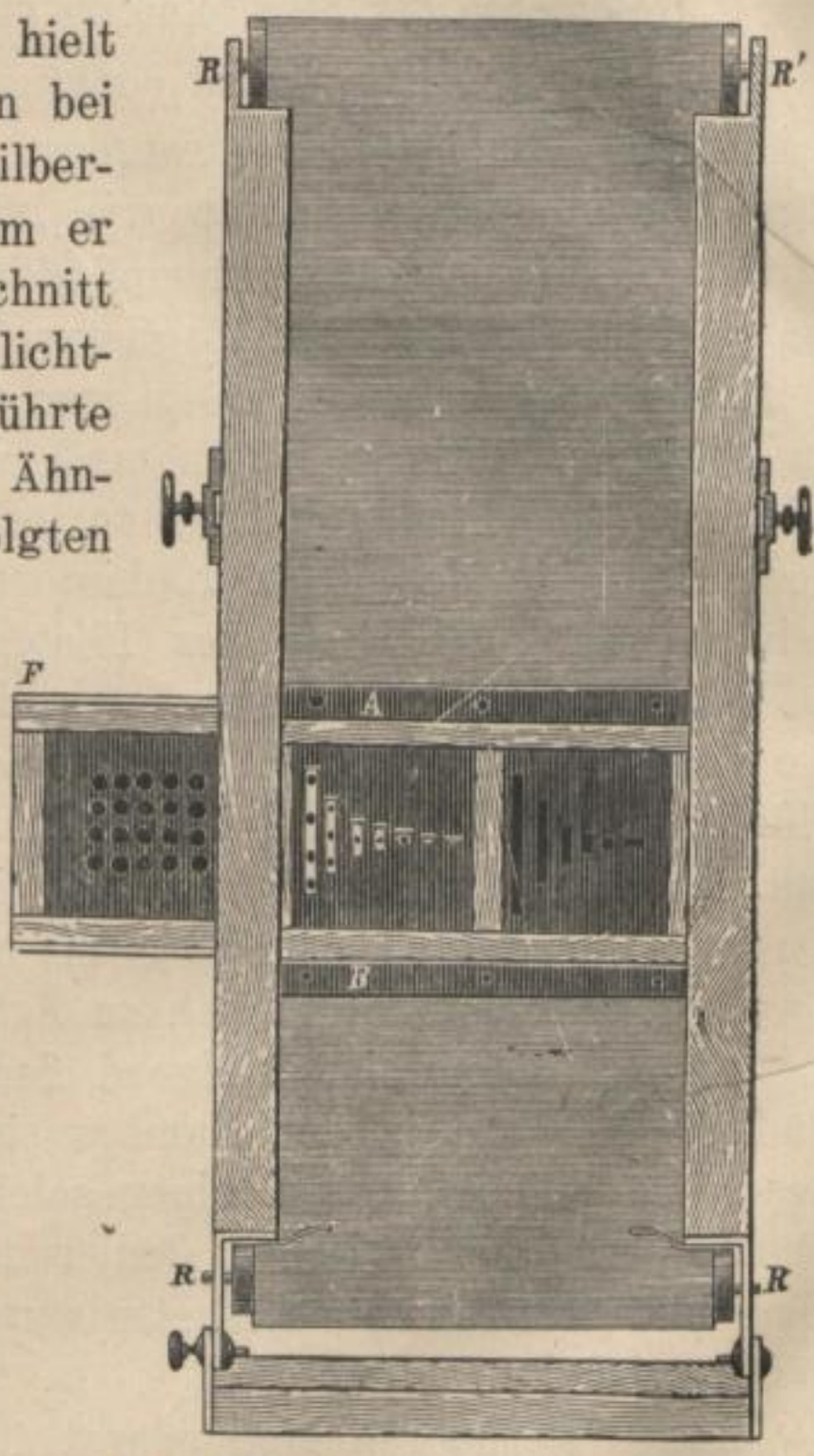


Abb. 2. Claudet, Photographometer.

Ein Fortschritt war die Erzeugung von Skalenphotometern durch stufenförmig übereinandergelegte Streifen von transparentem Papier durch Lanet de Limency im Jahre 1856. Die so hergestellten

1) Vgl. Eder u. Kuchinka, Die Daguerreotypie 1927. (Eders Ausführl. Handbuch der Photographie, II., 3., dritte Auflage.)

„Intensitäts-Skalen“ waren von ihm zunächst für visuelle Beobachtungen der Beleuchtungshelligkeit bestimmt. Bei der Vorlage dieses Instruments in der Pariser Photographischen Gesellschaft am 15. Febr. 1856 wies der Chemiker Regnault darauf hin, daß die photographische und die visuelle Helligkeit nicht parallel laufen, aber daß man hinter der Skala ein Blatt Chlorsilberpapier legen und hiermit die chemische Wirkung des Lichtes messen könne.

Im September 1866 nahm Louis Bing ein englisches Patent auf ganz dieselbe Sache und ordnete 1868 das sensible Papier rollenförmig an.

Man kopierte anfänglich Pigmentpapier, bis man erfahrungsgemäß einen bestimmten Kopiergrad der Skala erreicht hatte, ohne den Zahlenwert solcher Skalen zu kennen oder ohne auch nur an die Eichung zu denken.

H. W. Vogel gebührt das Verdienst, derartige Papierskalen-Photometer zuerst als Meßinstrument für Kopierzwecke verwendet und zugleich die Zahlenwerte der Grade (1 : 1,27 : 1,61) bestimmt zu haben (1868). Demzufolge erlangte es für den Pigmentprozeß als handliches Photometer zur Bestimmung der Kopierzeit große Bedeutung. Die Eichung solcher Photometer führte als erster H. W. Vogel ein und bestätigte die Richtigkeit der jedem Instrumente beigegebenen Zahlentabelle durch seine Unterschrift.

Die dickeren Schichten der Seidenpapierskala (in ihren höheren Nummern) erwiesen sich wegen ihrer inneren Lichtzerstreuung als recht unverläßlich, was schon Vogel beobachtet hatte[1]).

Mitunter bediente man sich des von Bunsen und Roscoë angegebenen Chlorsilber-Normalpapieres als Standard.

Ein nächstes Stadium bestand in der Herstellung von Skalen aus progressiv dickeren Schichten aus Tusche-Gelatine, die frei von diesem Fehler sind.

Wie Felix Formstecher kürzlich mitteilte, hatte Woodbury bereits im Jahre 1868 in Ausführung seines „Woodbury-Druckes für Halbtonbilder“ stufenförmige Schichten von Kollodiumblättern in Blei mit hydraulischen Pressen abgeformt und mittels der resultierenden Tiefdruckformen und Tusche-Gelatine transparente Photometerskalen für seine Kopierzwecke erzeugt (s. Formstecher[2]). Woodbury brachte solche Skalenphotometer nie-

1) Die genaue Geschichte dieser Photometer s. Eders Ausf. Handbuch der Phot., I. 3. 1912., S. 150.

2) Felix Formstecher machte (Phot. Indust. 1928, S. 520) darauf aufmerksam, daß P. E. Liesegang bei seinem Besuche bei Woodbury 1868

mals in den Handel, stellte deren Skalenwerte niemals fest, dachte an keine Normallichtquelle und publizierte niemals die Verwendungsmöglichkeit für sensitometrische Zwecke.

Dieses „Photometer“ Woodburys diente also zur Bestimmung einer konstanten, empirisch von Fall zu Fall mit den vorliegenden Negativen erprobten Lichtmenge im Pigmentverfahren.

Da tauchte im Jahre 1880 in England das Warnerke-Sensitometer auf; es war das erste in der photographischen Praxis mit Erfolg eingeführte Instrument zur Messung der Lichtempfindlichkeit. Der Erfinder, Leon Warnerke, war ein in den 70er Jahren in England lebender Russe, ein eifriger Experimentator auf dem Gebiete der Photographie, die ihm manche Entdeckung verdankt. Wir wollen hier nur von seinem Sensitometer sprechen, mit dem er in der Royal Photographic Society of Great Britain im Jahre 1880 in die Öffentlichkeit trat. Warnerke verwendete, ebenso wie Woodbury, eine transparente Gelatinefarbe, die er aus einer abgestuften Hohlform auf eine Glasplatte im Formate 9×12 cm übertrug; diese Hohlform hatte Woodbury seinerseits wieder vom Auerschen Naturselbstdruck entnommen, denn er preßte seine Kollodiumreliefs hydraulisch in Blei, wogegen Warnerke seine schachbrettartigen Papierstaffel (Papier von 0,03 mm Dicke) mit dem härteren Spence Metall abgoß. Davon fertigte er Abdrücke in Gelatinefarbe auf Glasplatten im Formate 9×12 und bedruckte diese Felder schließlich mit bronzierten Nummern; er überholte Woodburys, im Versuchsstadium stecken gebliebenes Photometer durch zahlenmäßige Eichung der Skala, deren Undurchlässigkeit von $1 : 1^1/_3 : 1^3/_4 : 2^1/_3 : 3 : 4 : 5 : 7 : 9 : 12 : 16 : 27 ; 36 : 48$ bis 765 (Nummer 25) in geometrischer Progression anstieg, oder besser gesagt: ansteigen sollte. Diese letzte Nummer „25° Warnerke“ war die höchste damals angestrebte Empfindlichkeitszahl von Bromsilbergelatineplatten und entsprach ungefähr 15 Graden Scheiner.

Abb. 3 zeigt die Anordnung des Warnerke-Sensitometers[1]). Der Rahmen A enthält die Skala C, hinter welche die

---

in London derartige „Photometerskalen“ gesehen habe, die 14 ansteigende Felder in Gelatinefarbe mittels des „Woodbury-Druck“ enthielten. Sie waren zur Bestimmung der Kopierdauer bestimmt. Die Andeutung Formstechers, daß vielleicht Woodbury als der eigentliche Erfinder des Warnerke-Sensitometers gelten könne, entspricht nicht den Tatsachen.

1) Genaue Mitteilungen über das Warnerke-Sensitometer und andere Sensitometerarten sind in Eders Ausführlichem Handb. d. Photogr. Bd. I, 3, 1912, S. 188 enthalten.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Platte gelegt wird; darüber kommt die Leuchtplatte (durch die Vorreiber b b festgehalten). Die Exposition erfolgt durch Wegziehen des Schiebers D.

Zum Warnerke-Sensitometer gehörte untrennbar eine Normallichtquelle von blau-phosphoreszierender Balmainscher Leuchtfarbe, die durch Belichten mit einem Zoll Magnesiumband zur maximalen Leuchtkraft gebracht worden war. Nach einer Ruhepause von 1 Minute wurde sie zur Exposition der hinter der Skala befindlichen Platte verwendet (30 Sekunden). Die zu prüfende Platte wurde kräftig entwickelt und der Schwellenwert abgelesen; aber auch über die Gradation gab der Schwärzungsverlauf der Skala Aufschluß. Besonders wertvoll galt die Möglichkeit, die Empfindlichkeitsmessung einer Bromsilbergelatineplatte durch eine charakteristische Zahl oder Kennziffer ausdrücken zu können, was der Trockenplattenindustrie und dem Handel sehr zum Vorteile gereichte. Das blaue Phosphoreszenzlicht der Leuchtplatte entsprach der Blauempfindlichkeit der gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten, für welche das Ganze eingestellt war; farbenempfindliche Platten kamen damals kaum in Betracht.

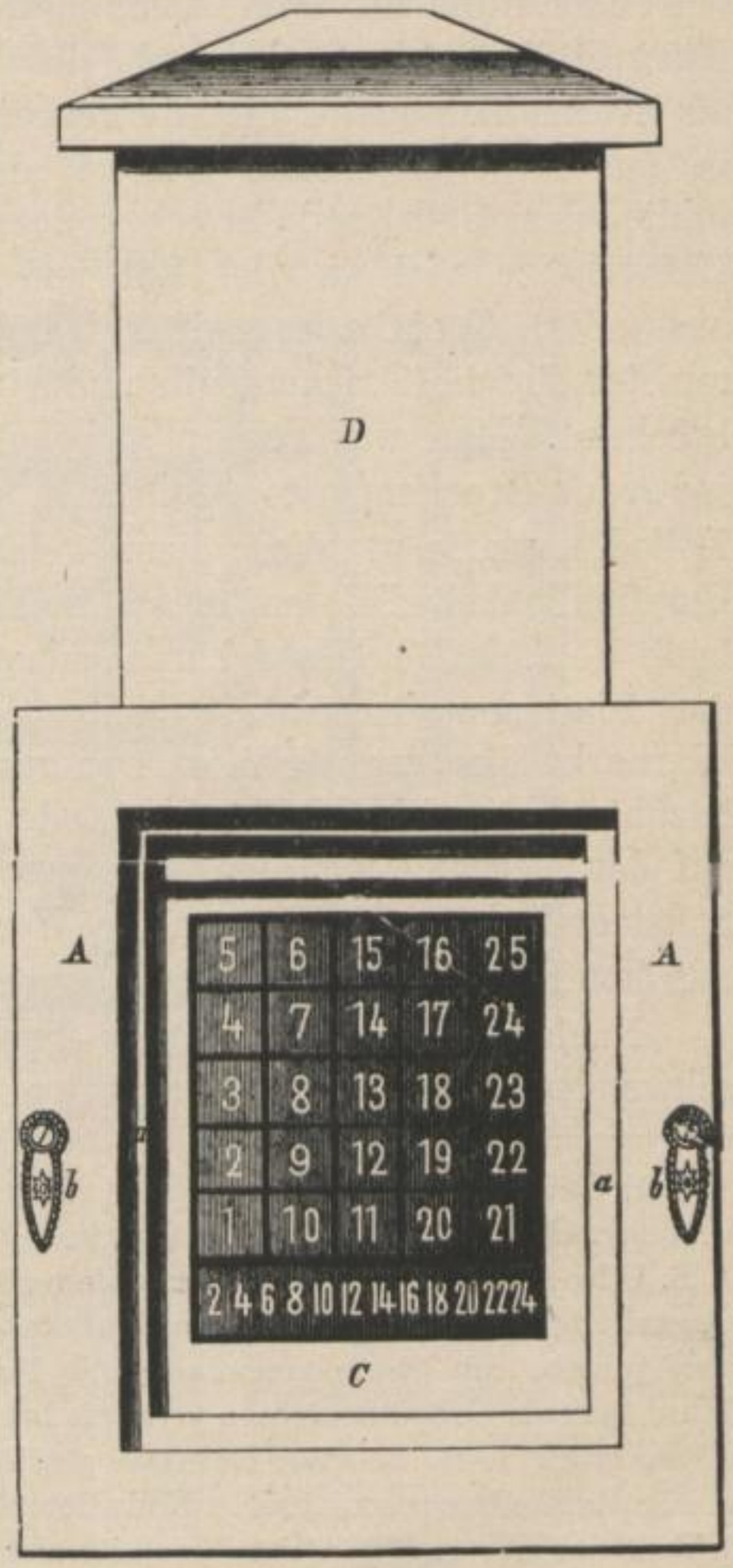


Abb. 3. Warnerke-Sensitometer.

Im Jahre 1881 wurden die Warnerke-Sensitometer in endgültiger Form massenhaft in den Handel gebracht und in diesem Jahre erhielt Eder eines der ersten derselben und trat für dessen Anwendung in Deutschland und Österreich lebhaft ein. Eder prüfte die Grenzen

der Genauigkeit und der leider unregelmäßigen Skalen sowie die Zusammenhänge mit dem späteren Scheiner-Sensitometer.

Aber auch die Leuchtplatten des Warnerke-Sensitometers litten an Ungleichmäßigkeit, so daß der Photographische Kongreß in Paris (1889) wohl die Warnerke-Skala beibehielt, aber als Normallichtquelle die Hefnerkerze vorschlug. Da verfiel man in das entgegengesetzte Extrem, denn der Warnerke-Leuchtplatte fehlte das Gelb und Rot bei dominierendem Blau, während die Hefnerkerze viel zu viel Rot und Gelb und viel zu wenig Blau aussandte. Trotz aller seiner Mängel wirkte das Warnerke-Sensitometer für die Trockenplattenindustrie äußerst erfolgreich, ja bahnbrechend. Man war früher gewöhnt, daß man die Empfindlichkeit jedweder Trockenplatte (Kollodium oder Gelatine) mit einer nassen Kollodiumplatte verglich; diese weist aber, je nach der Präparation, Empfindlichkeitsdifferenzen von mehr als 100% auf (s. Eder, Handbuch II: 2. 1927). Handel und Industrie waren bei der Einschätzung der Plattenempfindlichkeit völlig desorientiert[1]), und da brachte Warnerke die erste Abhilfe. Der ganze Handel mit „Momentplatten“ beruhte seit zirka 1883 bis Ende des neunzehnten Jahrhunderts auf der Messung mit dem Warnerke-Sensitometer, bis das präzisere Scheiner-Sensitometer es um die Wende des Jahrhunderts allmählich aus dem Felde schlug.

Nachdem das Warnerke-Sensitometer aus dem Handel verschwunden war[2]), griff Chapman Jones dasselbe Verfahren zur

---

1) Es passierten auch ganz hervorragenden Fachmännern demzufolge große Irrtümer. Es ist dem Verfasser noch gut in der Erinnerung, wie der berühmte alte J. B. Obernetter in München im Jahre 1882 ein höchst einfaches Verfahren der Herstellung von Bromsilbergelatine auf kaltem Wege durch Baden einer Silbernitratgallerte mit Bromammonium und Natriumkarbonat ausgearbeitet und im Jahre 1882 als Geheimverfahren verkauft hatte (s. Eder, Photographie mit Bromsilbergelatine 1903, S. 377); es ergab prachtvoll modulierte schleierlose Negative, welche die Konkurrenz mit nassen Kollodiumplatten aushielten, aber nur die Empfindlichkeit unserer gewöhnlichen Diapositivplatten aufwiesen. Damals waren schon Trockenplatten von wesentlich größerer Empfindlichkeit (bis 25° Warnerke = zirka 15° Scheiner) im Handel erhältlich. — Er kannte die wahre Empfindlichkeit seiner Platten (die nur 5° Scheiner = zirka 14° Warnerke war) nicht, glaubte, seine Emulsion in Selbsttäuschung den Porträtphotographen verkaufen zu können, schnitt aber sehr schlecht ab, weil ihn Reklamationen eines besseren belehrten.

2) Nach dem Tode Warnerkes wurde sein Sensitomer überhaupt nicht mehr erzeugt und ist heute nur noch in Museen vorfindlich.

Um sich ein Urteil über die Herstellung der Skalen des Warnerke-Sensitometers bilden zu können, stellte der Verfasser langwierige Versuche des Abformens solcher

Herstellung schachbrettartiger Skalen mit Gelatinefarbe im Jahre 1901 wieder auf und erzeugte einen „Plate Tester“ (Plattenprüfer) mit 25 Nummern; der Dichteunterschied von Feld zu Feld stieg im Verhältnisse von 1:2:4:8:16:32 bis 2048 an und enthielt einige Gelatinefilter, um die Farbenempfindlichkeit erkennen (aber nicht messen zu können. Als Lichtquelle diente eine Walratkerze im Abstande von 12 engl. Zoll mit 30 Sek. Belichtung. Abb. 4 zeigt die Anordnung der Testplatte[1]). Zur Orientierung sei erwähnt, daß 24° Jones = 14° Scheiner und 15° Jones = 1° Scheiner sind (Eder).

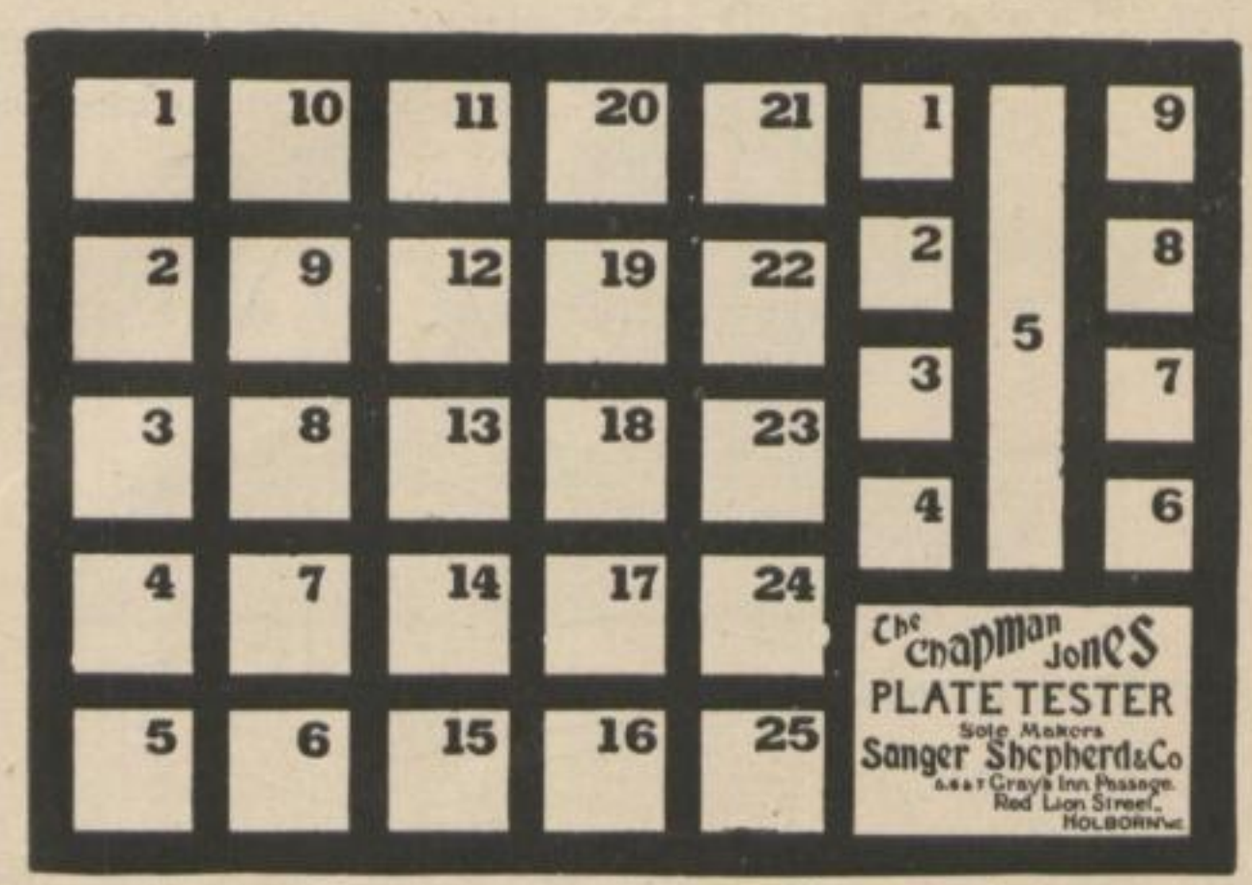


Abb. 4. Der Plattenprüfer von Chapman Jones.

Das Warnerke-Sensitometer blieb 15 oder 20 Jahre im Gebrauch, wurde durch rotierende Scheiben verdrängt, welche (was schon lange bekannt war) durch passend geformte radiale weiße und schwarze Sektoren abgestufte Helligkeitsunterschiede geben, um normale graue Töne zu definieren (Bunsen und Roscoë 1862 u. A.). E. Mach war wohl der erste, der solche rotierende Scheiben zur photographischen Empfindlichkeitsbestimmung benützte; er arbeitete mit schwarz-weißen Papierscheiben und exponierte im reflektiertem Lichte (Sitzber. d. Akad. d. Wissensch. Wien. 1865. Bd. 52 und 1866. Bd. 54).

Besser eignen sich für sensitometrische Zwecke rotierende Scheiben mit entsprechenden Sektorenausschnitten und Beleuchtung mit

Papierskalen in Blei mittels hydraulischer Pressen an, und überzeugte sich von der Unmöglichkeit, das Warnerke-Sensitometer selbst für bescheidene Ansprüche der modernen Photographie brauchbar machen zu können.

1) Die genauere Beschreibung des Chapman Jones-Sensitometers ist in Eders Ausf. Handb. d Photogr. Bd. I, 3, 1912, S. 222 enthalten.

durchfallendem Lichte. Durch passende Verteilung in der Form des Ausschnittes kann man eine Lichtverteilung nach jedem beliebigen Gesetz erhalten.

Eine solche rotierende Sektorenscheibe benützten Hurter und Driffield (1893) zur Prüfung der Lichtempfindlichkeit von Bromsilbergelatineplatten (bezogen auf eine Walrat-Normalkerze) und ermittelten damit auch ihre „charakteristischen Schwärzungskurven“ und die daraus abgeleitete „Inertia“. Die Helligkeitswerte der Felder stiegen rasch von 1:2:4:8:16 usw. an. Abb. 5 zeigt dieses Sensitometer von Hurter und Driffield. (A ist die Kerze, B der Verschluß, C die rotierende Scheibe mit dem Sektoren-Ausschnitt.)

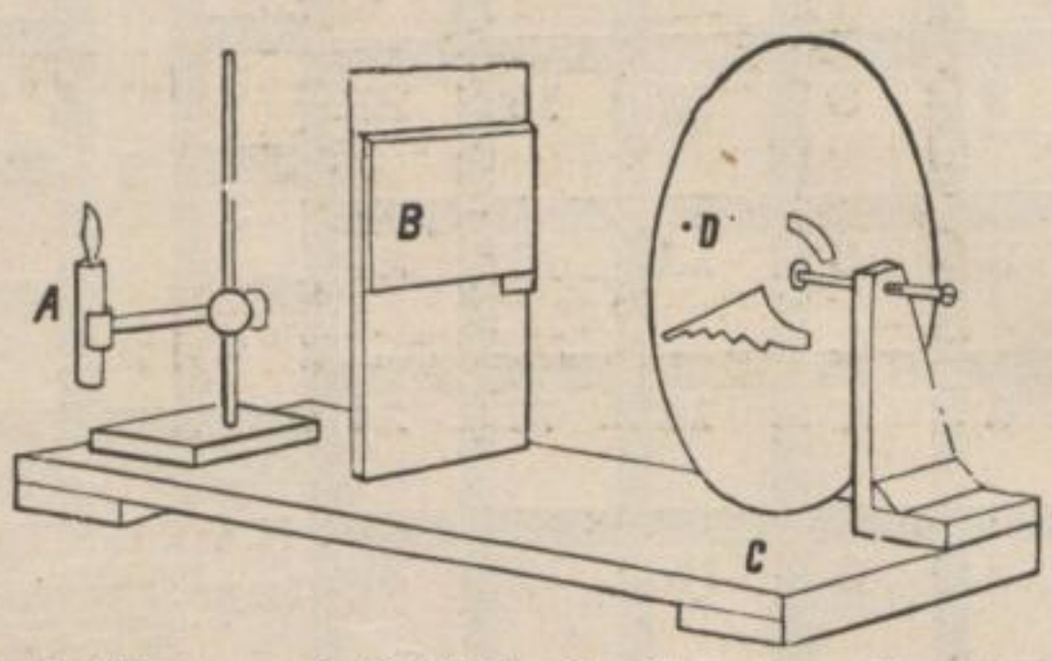


Abb. 5. Hurter und Driffields Sensitometer mit rotierender Sektoren-Scheibe und Walrat-Normalkerze.

Die von Hurter und Driffield verwendete Walratkerze ist aber eine sehr ungenaue Normallichtquelle und das allzurasche Ansteigen der Photometergrade ist hinderlich für genaue Messungen.

Scheiner gab seiner Scheibe einen kontinuierlich kurvenförmigen Ausschnitt, Abb. 6, den Eder in einen stufenförmigen abänderte, der den Intensitätsunterschied von 1:1,27 anzeigte, und standardisierte das Sensitometer auf die Hefnerkerze; farbige Lichtfilter (reduziert auf ideale Transparenz) ermöglichten die Messung der Farbensensibilisierung. In dieser Form legte Eder dieses Sensitometer dem III. Internationalen Kongreß für angewandte Chemie in Wien 1898 vor und so wurde es zur Empfindlichkeitsmessung in Deutschland und Österreich eingeführt, während man in England zunächst beim System Hurter und Driffields, das sich auf die Schwärzungskurven und die Inertia gründete, verblieb, da diese große Darstellung viele Vorteile bietet und der Schwellenwert einer Platte nicht allein für ihre Charakteristik ausreicht.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Dies veranlaßte 1894 den Astronomen Scheiner, ein genaueres Sensitometer mit intermittierender Belichtung zu konstruieren, bei welchem die konstantere Benzinkerze benützt wurde.

Scheiner gab seiner rotierenden Scheibe einen kurvenförmigen Ausschnitt [1]), Abb. 6, und trug seine Skalenteilung auf eine Gelatinefolie auf. Lichtintervall 1 bis 100. Den kurvenförmigen Ausschnitt änderte J. M. Eder ab, der den Intensitätsunterschied von 1:1,27 anzeigte und vergrößerte den Skalenumfang in einem großen Modell dieses Sensitometers.

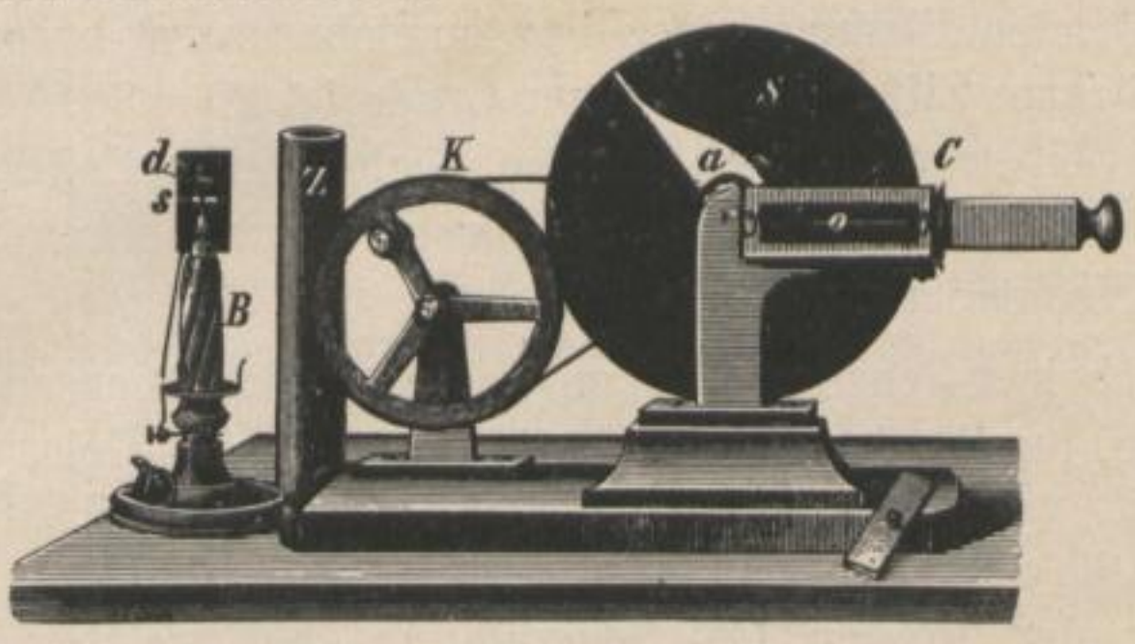


Abb. 6. Erstes Modell des Scheiner-Sensitometers.

Im Jahre 1898 standardisierte Eder das Instrument auf die amtliche deutsche Lichteinheit, die Hefnerkerze, und führte präzisierte farbige Lichtfilter, reduziert auf ideale Transparenz, zur Messung der Farbempfindlichkeit ein. In dieser Form und mit staffelförmigen Skalenfeldern, welche Helligkeitsunterschiede von 1:1,27 anzeigten, und im großen Modell Expositionen von 1 bis 200 umfaßten, legte Eder dieses Sensitometer auf dem dritten internationalen Kongreß für angewandte Chemie in Wien 1898 vor, und es wurde in Deutschland und Österreich insbesondere zur Messung der Empfindlichkeitsschwelle sowie zur Bestimmung der Gradation eingeführt [2]), während man in England zunächst bei dem System Hurter und Driffield verblieb, das viele Vorteile, aber auch manche Mängel zeigte.

Das Scheiner-Sensitometer ist für blauempfindliche Platten sehr gut geeignet; für farbenempfindliche Platten aber war man genötigt,

---

1) Die damit erhaltenen Sensitometerstreifen zeigten einen allmählich ansteigenden Schwärzungsverlauf. Es sei erwähnt, daß solche kontinuierlich progressiv geschwärzte Streifen bei dem ersten von Hartmann erfundenen Mikrophotometer als Meß-Skala benutzt wurden.

2) Genau beschrieben in Eder, Handbuch I, 3. Dritte Auflage, 1912, S. 172 und in diesem Band Kapitel XIX.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

eine sekundäre Umrechnung auf weißes Tageslicht mit Hilfe von Röhrensensitometern vorzunehmen. Die Scheiner-Grade haben sich im Laufe der Jahre in Fabrikation und Handel für die Bezeichnung der Empfindlichkeit eingebürgert und auch heute noch pflegt man die Schwellenwerte der Plattenempfindlichkeit in Scheinergraden anzugeben, die allerdings selten direkt bestimmt werden, sondern durch Reduktion der Anzeige des Eder-Hecht-Sensitometers mittels des von Eder angegebenen Magnesiumlichtstandards (2 mg Magnesiumband, aufgespießt auf eine Stahlnadel, entzündet an einer nicht leuchtenden Flamme eines Bunsengasbrenners) berechnet werden. Die höchste Ziffer der Scheiner-Grade ist 20 = 90° Eder-Hecht. In neuerer Zeit werden auch Platten höchster Empfindlichkeit, von 22 bis 27° Scheiner fabriziert, was durch Extrapolieren auf 96 bis 108° Eder-Hecht einzuschätzen ist.

Das Scheiner-Sensitometer mit einer intermittierenden Belichtung wurde durch den Graukeil mit Tusche-Gelatine in der Phototechnik verdrängt, den F. Stolze im Jahre 1883 erfunden hatte; Goldberg gab im Jahre 1911 eine verbesserte Form der Herstellung der grauen Gelatinekeile an, bei welcher die schon von Woodbury für seine Photoglyptie (s. Bd. IV, 3) benützte schwärzliche Gelatinefarbe verwendet wurde. Der Stolze-Goldbergsche Gelatine-Graukeil wird zu photometrischen und sensitometrischen Messungen aller Art benützt. Er wurde von Eder verwendet für das Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometer (1919) in Verbindung mit Magnesiumnormallicht, in fixe Kombination mit Skalen und blauen, grünen, gelben und roten Farbenfiltern; die Durchlässigkeit der letzteren ist auf ideale Transparenz (100 %) reduziert, so daß man Kennzahlen für allgemeine Empfindlichkeit gegen weißes Licht und relative Farbenempfindlichkeit ermitteln kann. Es gibt kleine Intensitätsunterschiede von 1:1,2 an, und umfaßt ein Helligkeitsgebiet von mehr als 20,000. In dieses Gebiet fällt auch die Messung von Irradiations- und Solarisationserscheinungen.

In neuerer Zeit taucht auch wieder die Verwendung von Farbentafeln zur Prüfung der Farbentonrichtigkeit bei der Photographie von buntfarbigen Gegenständen auf. Dieses Verfahren hatte bereits H. W. Vogel in den 70er Jahren [1]) im Zusammenhange mit der Spektrumphotographie verwendet. Eder benützte Standard-

1) H. W. Vogel, Handbuch d. Photographie. 4. Aufl. 1890. Bd. I, Tafel VIII, Farbentafel und ihre photographische Aufnahme.

farbtafeln von Zinnober, Chromgelb, Ultramarinblau, Methylviolett mit einer Nebenstellung einer abgestuften Grauskala (1898).

Solche Farbtafeln verschiedener Art fanden in zahlreichen Variationen Anwendung insbesondere in bezug auf den Ostwaldschen „Farbenatlas“. In neuester Zeit stellt auch die „Agfa I. G.-Farbenindustriegesellschaft“ in Berlin eine Farbtafel unter Verwendung sehr reiner und brillanter Teerfarbstoffe her. Diese Farbtafel gewinnt erhöhte Bedeutung, weil sie kürzlich von Dr. L. Bloch in Berlin einer genauen Messung ihres Reflexionsvermögens bei Verwendung verschiedener Lichtquellen unterzogen wurde (Kinotechnik 1928).

Für den Praktiker sind solche Farbtafeln recht bequem; es werden aber die sensitometrischen Messungen in direkt auf die sensible Schicht auffallendem Lichte (am besten weißem Magnesiumlicht), wie sie mit spektralanalytisch geprüften Lichtfiltern erfolgen, nicht entbehrlich gemacht, wenn man rasch sichere Kennziffern für die Farbenempfindlichkeit gewinnen will. Allerdings ist auch hier eine Umrechnung der unmittelbar abgelesenen Sensitometernummern auf Farbenfilter von idealer Transparenz (100 %) empfehlenswert; dies kann ja mit den Filterfaktoren leicht erfolgen. Die so mit Magnesiumlicht ermittelten Empfindlichkeitszahlen gelten annähernd auch für mittleres Tageslicht und elektrisches Kohlenbogenlicht.

Die Verfeinerung der Messungsapparate für die Schwärzung durch das Martenssche Polarisations-Photometer (1901) und das J. Hartmannsche Mikrophotometer (1889), den Densographen von Goldberg u. a. ermöglichte das genauere Studium der photographischen Schwärzungsvorgänge und ihrer Gesetzmäßigkeiten, während durch die Anwendung der Spektralanalyse und Spektrographie die wissenschaftliche Erkenntnis der Farbensensibilisierung erschlossen wurde.

Diese Schwärzungsmessungen photographischer Schichten sind in den phototechnischen Laboratorien im Zusammenhange mit der Bestimmung des Schwellenwertes unerläßliche Arbeitsmethoden geworden, welche man auch zur Konstruktion der charakteristischen Schwärzungskurven sowie zur Messung der Solarisation, Schleierbildung und der Entwicklereigenschaften usw. benötigt. So hat sich die Sensitometrie aus kleinen, rudimentären Anfängen zu einem der wichtigsten Forschungsmittel der angewandten Photochemie entwickelt.

Die Einzelheiten der Sensitometrie nach ihrem gegenwärtigen Stand und in ihrer historischen Entwicklung werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben werden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ZWEITES KAPITEL.

DIE GRUNDGESETZE DER PHOTOGRAPHISCHEN WIRKUNG DER BELICHTUNG.

Die Empfindlichkeit einer photographischen Schicht wird durch den photochemischen Effekt charakterisiert, den eine bekannte Menge von strahlender Energie auf ihr hervorbringt.

Man kann die Schwärzung von Silberverbindungen im Lichte im Allgemeinen auffassen als eine Funktion der wirkenden Lichtmenge, das ist der Lichtintensität J, die in der Zeiteinheit auf die Flächeneinheit der Platte fällt und der Belichtungszeit t. Diese „Lichtmenge“ $(J \cdot t)$ bezeichnet man auch kurzweg als „Exposition“ [1]).

Die geringste Lichtmenge, welche notwendig ist, um einen eben bemerkbaren photographischen Effekt hervorzubringen, nennt man den Schwellenwert einer photographischen Schichte. — Der Schwellenwert ist nicht nur von der Art der sensiblen Schicht, sondern auch von der Entwicklungsart und der Wellenlänge des wirkenden Lichtes abhängig.

Die Schwärzungsvorgänge photographischer Schichten, insbesondere jene von Silberhaloidverbindungen, kann man auf folgende Grundgesetze zurückführen:

1. Das photographische Reziprozitäts-Gesetz von Bunsen und Roscoë.

Die erzeugte Schwärzung (S) eines photographischen Chlorsilberpapieres ist in der einfachsten Form des ältesten Schwärzungsgesetzes eine Funktion der eingestrahlten Lichtmenge $(J \cdot t)$, was durch die Formel

$$S = \varphi (J \cdot t)$$

ausgedrückt wird. Mit anderen Worten: Gleichen Produkten aus Lichtintensität und Belichtungszeit entspre-

---

1) Die sog. „Exposition“ im Sinne der neueren Photographie bezeichneten Bunsen und Roscoë bei ihren photographisch-photometrischen (sechziger Jahre) Untersuchungen mit dem Namen „Insolation“.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

chen gleiche photographische Wirkungen", welches Gesetz Bunsen und Roscoë im Jahre 1862 für photographisches Chlorsilberpapier und dessen direkte Schwärzung am Lichte für beschränkte Grenzen aufgestellt und experimentell als richtig erkannt hatten [1]).

Man nennt dieses Gesetz das „Reziprozitäts-Gesetz" oder besser die „Reziprozitäts-Regel", weil man in der praktischen Photographie um so kürzer belichten muß, je größer die wirkende Lichtintensität ist.

Diese Regel pflegt man in beschränkten Grenzen in der photographischen Praxis zur Abschätzung der Belichtungszeit für Bromsilbergelatineplatten usw. anzuwenden, obschon es sich hiermit nur um eine erste Annäherung handelt. Die so berechneten Belichtungszeiten können keinen Anspruch auf strenge Gültigkeit machen und sind häufig im photographischen Verfahren mit Entwicklung sehr ungenau, aber sie genügen innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen der Lichtintensität bei Porträt-, Moment- und Landschaftsaufnahmen und reichen auch für farbenempfindliche Filme in der Kinotechnik aus [2]); die Reziprozitätsregel wird deshalb auch den meisten „Belichtungs-Tabellen" für die angewandte Photographie zugrunde gelegt.

Das Bunsen-Roscoësche Reziprozitätsgesetz war in gewissen Grenzen für Chlorsilberpapier und Tageslicht aufgestellt und man hielt sich auch in der älteren Praxis der Negativphotographie mit nassen Jodsilber-Kollodiumplatten und beim Kopierprozeß daran, obgleich mannigfache praktische Beobachtungen zeigten, daß dieses Gesetz nicht immer streng gültig ist, sobald sehr große gegenüber geringen Lichtintensitäten vorliegen.

Man wußte schon in der Zeit der nassen Kollodiumplatte (Hardwich ca. 1860 in seinem Buch „Photographische Chemie" u. a.), daß man bei Aufnahmen mit sehr schwacher Beleuchtung und stark abgeblendeten Linsen keine kontrastreichen Negative erzielen kann, daß man bei sehr schwachem Lichte erheblich länger belichten

---

1) Es gehorchen auch noch andere photochemische Prozesse dem einfachen Bunsenschen Reziprozitätsgesetze, wie z. B. die sich im Lichte schwärzende weiße Lithopone, die ihr Maximum der Empfindlichkeit im Ultraviolett bei der Wellenlänge 313 hat (F. G. Brickwedde, Journ. Optic. Soc. Americ. 14. April 1927, S. 312).

2) Dies hat neuerdings Loyd A. Jones im Forschungslaboratorium der Eastman-Kodak-Co. festgestellt (1927).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

muß, als der Reziprozitätsregel entspricht, und daß man nur bei großer Lichtintensität viel eher brillante Negative erhalten kann. Dies trat namentlich bei Interieur-Aufnahmen zutage. Daraus folgerten manche Beobachter in den Sechziger Jahren, daß die Zunahme der Schwärzung der photographischen Platte nicht immer streng der Reziprozitätsregel folgt, was übrigens auch Fizeau und Foucault im Jahre 1844 für Daguerreotyp-Platten beobachtet hatten.

Die in der photographischen Praxis gewonnene Erkenntnis, daß sich die Belichtungszeiten bei sehr stark geänderter Lichtintensität nach dem Reziprozitätsgesetz nicht ohne weiteres genau berechnen lassen, führte in der Folge zu verschiedenen Veränderungen und zu anderer Formulierung der Schwärzungsgesetze, deren wichtigsten die folgenden sind:

2. Das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz. Das Bunsen-Roscoësche Gesetz verliert seine strenge Gültigkeit für die Schwärzungsvorgänge des latenten Lichtbildes auf Silberhaloidschichten bei den photographischen Entwicklungsverfahren, was man seit Abney (1894) weiß. Man kommt der Wahrheit näher, wenn für Bromsilbergelatineplatten das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz (1900) angewendet wird. — Dieses Gesetz lautet: Die photographische Wirkung des Lichtes auf die Schwärzung von Bromsilbergelatineplatten hängt von dem Produkt Jt^p oder in noch vorteilhafterer Schreibweise $J^q t$ ab, worin p und q die für die betreffende Platte charakteristischen Konstanten sind, von denen p im allgemeinen kleiner als 1, dagegen q größer als 1 ist. Wird $p = 1$, so entspricht das der einfachen Reziprozitätsregel. Das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz ergibt für die Schwärzung einer photographischen Platte als Funktion der Exposition folgende Formeln: $S = \varphi\,(Jt^p)$ oder $S = \psi\,(J^q t)$.

Die Schwarzschildschen Formeln setzen voraus, daß die photographische Platte eine invariable Intensitäts- oder Zeitskala besitzt.

Aber das Schwarzschildsche Gesetz gilt nur in beschränktem Maße für Lichtmengen von der Einheit des Schwellenwertes bis ungefähr der 100fachen Exposition. Darüber hinaus erwiesen sich bei späteren Untersuchungen die Exponenten p und q als nicht völlig konstant. — Auch zeigt sich eine Abhängigkeit der Exponenten p und q von den wirkenden Lichtintensitäten, von der Natur der verwendeten Emulsionen sowie von der Wellenlänge des Lichtes,

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

insbesondere von dem Reifungsstadium der Bromsilberkörner, ihrer Homogenität oder Mischung ungleichartiger Emulsionen.

Die Untersuchungen Schwarzschilds ergaben, daß die Bromsilbergelatine von der einstrahlenden Lichtenergie in der Regel um so weniger für den photographischen Zweck verwendet, je langsamer die Lichtenergie zuströmt. — Allerdings ist auch diese Regel nur in engeren Grenzen bei geringeren Lichtintensitäten gültig, aber nicht unter gewissen Verhältnissen bei sehr großen Lichtintensitäten. Immerhin kann diese Regel innerhalb der Grenzen der gewöhnlichen Methoden der Empfindlichkeitsbestimmung photographischer Platten als richtig anerkannt werden[1]).

3. Das Kronsche Gesetz besagt: Es gibt für jede Plattensorte eine bestimmte Lichtintensität, bei der die Energiezufuhr auf die belichtete Platte am günstigsten wirkt. Diese „optimale Lichtintensität" ist jene, bei der die einstrahlende Energie eine größere photographische Wirksamkeit hat, als wenn eine andere Intensität (größer oder kleiner) angewendet wird. — Darauf baut Kron sein Schwärzungsgesetz, nach welchem die Schwärzungskurve, bezogen auf den Logarithmus der Exposition, die Form einer Hyperbel oder einer Kettenlinie annimmt. Bei dem Kronschen Gesetz wird dem Umstande Rechnung getragen, daß der Schwarzschildsche Exponent $\not p$ bei sehr großen Lichtintensitäten variabel wird, wogegen die Zeitskala als invariabel angenommen wird.

4. Das Kellnersche photographische Schwärzungsgesetz, das die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen dem Schwarzschildschen Exponenten $\not p$ und der wirkenden Lichtmenge zu formulieren versucht.

---

1) Schwarzschild hielt dieses Gesetz für allgemein gültig; erst spätere Untersuchungen zeigten, daß bei starken Lichtintensitäten der Satz nicht allgemein gilt. Lüppo-Cramer machte die Beobachtung, daß diese Abweichung von der Reziprozitätsregel weitgehend aufgehoben wird, wenn man die Bromsilbergelatineplatten vor der Belichtung mit Bromakzeptoren (Natriumnitrit, Sulfit, Natriumformiat, Brenzkatechin od. dgl.) tränkt; der genannte „Schwarzschild-Effekt" wird dadurch aufgehoben; dagegen wird er durch Baden mit 1% Bromkaliumlösung vor dem Belichten erhöht. — Auf feinkörnigen Bromsilbergelatineplatten (auch auf solchen von höherer Empfindlichkeit) beobachtete Lüppo-Cramer in zahlreichen Fällen den umgekehrten Schwarzschild-Effekt, d. h. der photographische Effekt zeigte bei sehr langsam einströmender Lichtenergie (bei gleicher Lichtmenge $J \cdot t$) einen stärkeren photographischen Effekt, also einen günstigen Einfluß einer verlängerten Belichtungszeit, den Lüppo-Cramer „Zeiteffekt" nennt. Jedoch scheint der normale Schwarzschild-Effekt mit einem Exponenten p kleiner als für den Bereich der gewöhnlichen Photographie die Regel zu sein.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Grundsatz der photographischen Photometrie.

Bei allen photometrischen und sensitometrischen Messungen ist es notwendig, von einer spezifizierten Meter-Kerze auszugehen. Als diese gilt in Amerika, England und Frankreich die Internationale Kerze (Internationale Dezimalkerze, eine standardisierte elektrische Glühlampe) als Einheit der Lichtintensität. — In Deutschland gilt bekanntlich die Hefnersche Amylazetatlampe, sog. „Hefnerkerze“ (H. K.), als Lichteinheit, welche für visuelle Helligkeit gleich 1,11 Internationalen Kerzen ist und deren photographisch-sensitometrische Beziehungen zueinander für verschiedenes Photomaterial oftmals sichergestellt wurden.

Die photographische Wirkung (Aktinität) schwankt mit dem spektralen Verhalten der Lichtquellen. Auf den photographischen Kongressen in Paris (1925) und London (1928) wird für die photographische Sensitometrie als Lichteinheit eine visuelle Kerzenhelligkeit von der spektralen Energieverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes oder eines Strahlers von der Farbtemperatur 5000° absol. empfohlen und andere Lichtquellen werden durch Vorschalten von Lichtfiltern dieser Energieverteilung angepaßt (s. Kapitel XV. Normallichtquellen).

Es ist ein Grundsatz zur Bestimmung der photometrischen photographischen Helligkeit zweier Lichtquellen, daß Lichtquellen in jenem Falle als photographisch gleich hell zu bezeichnen sind, wenn sie auf denselben photographischen Platten in gleicher Zeit und unter sonst gleichen Umständen gleiche Schwärzungen erzeugen. Als Grundlage dient das Entfernungsgesetz für die Lichtintensitäten, das für Licht jedweder Wellenlänge (sichtbares und uns unsichtbares) gilt.

Die Lichtintensität einer Lichtquelle ist umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung (Entfernungsgesetz).

Dieses Gesetz gilt streng nur für punktförmige Lichtquellen; stellt aber die Lichtquelle ein schmales, sehr langes Band dar, so ändert sich die Lichtintensität annähernd umgekehrt proportional der ersten Potenz der Entfernung. Ist aber die Lichtquelle eine sehr große Fläche, so ändert sich die Intensität mit der Entfernung nicht. Auch die Dimension des beleuchteten Körpers spielt hierbei eine Rolle. Eine lange röhrenförmige Quecksilberdampf-Lampe wirkt für eine kleine Fläche in geringer Entfernung wie ein schmales Band und ändert seine Intensität umgekehrt der ersten Potenz der Entfernung. Dagegen wird es bei der Beleuchtung großer Flächen bei großen Entfernungen ungefähr vom Quadrat der Entfernung abhängen. Für elektrische Bogenlampen, Glühlampen, Azetylenflammen usw. kann man die Gültigkeit des Entfernungsgesetzes annehmen und man arbeitet auch bei Verwendung von Normal-Lampen (Hefner- oder Scheiner-Kerze) in der Photometrie und photographischen Sensitometrie darnach.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Nomenklatur in der Photometrie und Sensitometrie.

Unterschied der visuellen und der photographischen (photochemischen) Helligkeit.

Die visuelle Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges weicht stark von ihrer photographischen Wirkung ab, was durch die verschiedene spektrale Energieverteilung der Lichtquellen und der verschiedenen Reaktionsfähigkeit des menschlichen Auges und der diversen lichtempfindlichen Schichten bedingt ist. Die photographische (chemische) Helligkeit einer Lichtquelle bezeichnet man gewöhnlich als „Aktinität". Das Verhältnis der aktinischen Intensität zur visuellen Helligkeit nennt man „relative Aktinität"; dieser Begriff läßt sich wissenschaftlich gut erfassen (s. Kapitel XIV).

Die Stärke der Beleuchtung, welche eine Lichtquelle von 1 Normalkerze im Abstand von 1 m auf einer Fläche im Maximum hervorbringt, nennt man „Lux". Die photographische Wirkung einer Meterkerze während 1 Sekunde heißt „Sekunden-Meter-Kerze" (S. M. K.) oder ein „Phot".

Beim VII. Internationalen Kongreß für Photographie in London 1928 machte Loyd A. Jones vom Kodak Research Laboratorium in Rochester (Nr. 350 der Kodak-Mitteilungen 1928) nachstehende Vorschläge zur Vereinheitlichung der Nomenklatur in der photographischen Sensitometrie. Er schließt diese Benennungen an die für die visuelle (visuale) Photometrie und dem Beleuchtungswesen in England und Amerika gebräuchlichen Benennungen an. Die vorgeschlagenen Bezeichnungen wurden durch Kombination des griechischen Wortes „Phot" mit verschiedenen Zusätzen gebildet.

Es wird für die Einheit des photographischen Lichtstromes („photic flux") der Name: Photon[1]) vorgeschlagen.

Im allgemeinen werden folgende Benennungen empfohlen:

Für visuelle Photometrie.	Für photographische Sensitometrie usw.
Strahlungsenergie (Radiant energie)	oder Radiation.
Radiansstrom (Radiant flux).	
Exposition (exposure).	

Daraus zweigen die verschiedenen Namen für visuelle und photographische Bezeichnungen ab.

1) Die Bezeichnung des Lichtstromes mit dem Wort „Photon" ist nicht glücklich gewählt, weil unter diesem Namen in der theoretischen Physik ein ganz anderer bestimmter Begriff verbunden ist. Man nennt nach dem Vorschlage von G. N. Lewis (Nature Bd. 118, 1926, S. 874) die „Lichtquanten" im Sinne Einsteins neuestens „Photone" (s. Arthur Haas, Atomtheorie. 2. Aufl. 1929. S. 20 u. 23).

Allgemein	
Licht	—
Visible (visibel, sichtbar)	Photible (photibel)
Visual (visuell, der direkten Beobachtung mit dem Auge entsprechend)	Photal
Luminous (luminös, leuchtend)	Photic
Im besonderen	
Luminous flux (Lichtstrom), ausgedrückt in Ergs per Sekunde	Photic flux (Photic-Strom, photographisch wirksamer Lichtstrom)
Luminous Intensity (Lichtintensität)	Photic intensity Intensität des photographisch wirksamen Lichtes)
Luminous efficiency (Leuchtkraft)	Photic efficiency (Photic-Kraft)
Visibility (Sichtbarkeit)	Photibility (Photographierbarkeit)
Luminosity (Leuchten)	Photocity
Illumination (Beleuchtung)	Photivation
Brightness (Glanz)	Photiveness

Hierzu bemerkt L. A. Jones: Die Benennungen für die visuelle Photometrie und Beleuchtungstechnik entspricht dem Berichte des Komitees für Nomenklatur und Standards der „Illuminating Engineering Society", U. S. A. (Transact. Illum. Engin. Soc., Bd. 20, S. 629, 1925).

Bezeichnungen und Einheiten photometrischer Größen

nach den Normen

der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft.

1. Bezeichnungen.

Der Lichtstrom Φ einer Lichtquelle ist die von ihr ausgestrahlte, photometrisch bewertete Leistung.

Die Lichtstärke J einer punktförmigen Lichtquelle in einer bestimmten Richtung ist der Quotient aus dem Lichtstrom in dieser Richtung und dem durchstrahlten Raumwinkel (Raumwinkel-Lichtstromdichte).

Die Beleuchtungsstärke E einer Fläche ist der Quotient aus dem auf diese Fläche fallenden Lichtstrom und der Größe der Fläche (Flächen-Lichtstromdichte).

Die Leuchtdichte B (früher Flächenhelle) einer Fläche in einer bestimmten Richtung ist der Quotient aus der Lichtstärke der Fläche in dieser Richtung und der senkrechten Projektion der Fläche auf eine zu dieser Richtung senkrechte Ebene.

2. Einheiten.

Der Lichtstrom von der Einheit 1 Lumen wird erhalten, wenn eine Lichtquelle die Lichtstärke 1 Hefnerkerze gleichmäßig in die Einheit des Raumwinkels strahlt.

Die Einheit der Lichtstärke, eine Hefnerkerze, ist die Lichtstärke, mit der die unter Normalbedingungen brennende Hefnerlampe in horizontaler Richtung leuchtet.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Beleuchtungsstärke von der Einheit 1 Lux wird erhalten, wenn der Lichtstrom 1 Lumen auf die Fläche 1 m² aufgestrahlt wird.

Die Leuchtdichte von der Einheit 1 Stilb wird erhalten, wenn die Lichtstärke 1 Hefnerkerze von einer ebenen Fläche von 1 cm² in senkrechter Richtung abgestrahlt wird.

3. Beziehungen zwischen den verschiedenen Größen und Einheiten.

Bezeichnung	Zeichen	Einheit	Zusammenhang
Lichtstrom	Φ	Lumen (Lm)	$\Phi = \frac{Q}{T}$ (= E: F)
Lichtmenge	Q	Lumenstunde (Lmh)	$Q = \Phi \cdot T$
Lichtstärke	J	Hefnerkerze (HK)	$J = \frac{\Phi}{\omega}$
Beleuchtungsstärke	E	Lux (Lx)	$E = \frac{\Phi}{F}$
Leuchtdichte	B	Stilb (Sb)	$B = \frac{J\,\varepsilon}{f \cdot \cos \varepsilon}$

Hierin bedeutet T eine Zeit in Stunden, F eine Fläche in m² f eine Fläche in cm², ε den Ausstrahlungswinkel, w den Raumwinkel.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

DRITTES KAPITEL.

DIE SCHWÄRZUNG PHOTOGRAPHISCHER SILBERBILDER. — NOMENKLATUR. — DECKKRAFT PHOTOGRAPHISCHER SCHICHTEN.

I. Allgemeines über die Dichte oder Schwärzung photographischer Schichten. — Opazität und Dichte.

Man kann die Schwärzungen von photographischen Schichten (Silberniederschläge) im durchfallenden (transmittierten) Lichte messen und man spricht dann im allgemeinen von einer „Transmissions-Dichte“; dies geschieht bei den Schwärzungsmessungen von Negativen und Diapositiven (s. S. 87). — Oder man mißt die Schwärzung von Papierbildern im reflektierten Lichte und bezeichnet dies als „Reflexions-Dichte“ (s. S. 83).

Der Silberniederschlag einer entwickelten photographischen Platte erscheint im durchfallenden Lichte um so dichter, undurchsichtiger, schwärzer, je weniger Licht er durchläßt, d. h. je mehr metallisches Silber auf die Flächeneinheit der Schicht niedergeschlagen ist; hierbei übt jedoch der molekulare Zustand, die Korngröße und Kornzahl des Silberniederschlages einen bemerkenswerten Einfluß [1]). (Über Lichtzerstreuung durch die Silberkörnchen siehe S. 25.)

Ist a für eine gewisse Schwärzung das Intensitätsverhältnis vom auffallenden zum durchgelassenen Lichte $\left(\frac{i}{i'}\right)$, so setzt man (analog den bei dem Durchgange des Lichtes durch verschieden dicke, durchlässige Medien beobachteten Erscheinungen):

$$a = e^D,$$

---

1) Es handelt sich hier um sogenanntes feinverteiltes „molekulares“ Silber, d. i. Silber, dessen Moleküle durch irgendwelche andere Teilchen voneinander getrennt sind; zum Unterschiede von kohärentem metallischen Silber (vgl. Wernicke, Wied. Ann. Physik u. Chemie, 1894, Bd. 52 S. 523; ferner O. Wiener, Wied. Ann. 1899, Bd. 69, S. 499). — Sehr eingehend ist das verschiedene Korn der photographischen Negative behandelt in Lüppo-Cramer, Grundlagen der photogr. Negativverfahren (Bd. II, 1. Teil von Eders Ausf. Handb. d. Photogr. 1927).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

worin e die Basis der natürlichen Logarithmen ist, und bezeichnet die der Dicke der durchlässigen Medien analoge Größe D als Dichtigkeit oder Dichte der photographischen Negative.

In diesem Sinne ist die Dichte einer Platte oder, wie man auch sagt, ihre Schwärzung, der Logarithmus ihrer Undurchlässigkeit (Opazität) gegen Licht.

Aus praktischen Gründen entscheidet man sich für gewöhnliche Briggsche Logarithmen, da mit natürlichen Logarithmen schlecht zu rechnen ist. Man pflegt die Zwecke der praktischen Sensitometrie

$$a = 10^s$$

zu setzen, wobei s das praktische Maß der Schwärzung ist.

Demgemäß versteht man allgemein unter „Dichte“ oder „Dichtigkeit“ oder „Schwärzung“ eines photographischen Negativs (oder Diapositivs) den dekadischen Logarithmus des Quotienten

$$\frac{\text{auffallendes Licht}}{\text{durchgelassenes Licht}} \text{ oder } \log\left(\frac{i}{i'}\right)$$

wobei i die Intensität des auf die geschwärzte Bildschicht einfallenden Lichtes und i' die Intensität des durchgelassenen Lichtes bedeutet.

Unter der Schwärzung 1 ist also eine solche Dichte zu verstehen, welche die Intensität des einfallenden Lichtes nach dem Durchgange durch das geschwärzte Negativ auf den zehnten Teil herabsetzt, weil

$$\log \frac{1}{1/10} = 1$$

ist. Wird das Licht beim Durchgang einer stärker geschwärzten Stelle eines Negatives auf $1/100$ geschwächt, so ist

$$\log \frac{1}{1/100} = 2$$

und man spricht von der Schwärzung 2 (Vergl. die Tabelle auf S. 22).

Jedem Grade der Schwärzung kommt also nach dieser Bezeichnung eine bestimmte Maßzahl zu.

Nomenklatur der für die Schwärzung der photographischen Negative gebräuchlichen Größen.

Zur Bezeichnung der Schwärzung photographischer Negative und Diapositive pflegt man folgende Nomenklatur zu gebrauchen:

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1. Der Bruchteil des auffallenden Lichtes, welcher von einer planparallelen Schicht durchgelassen wird, also der Bruch

$$\frac{\text{durchgelassenes Licht}}{\text{auffallendes Licht}} \quad \left(\frac{i''}{i}\right)$$

wird mit dem Namen Transparenz (Durchlässigkeit, Transmissionsfähigkeit) bezeichnet. Die Transparenz ist stets ein echter Bruch und hat für eine absolut durchsichtige Schicht den Wert 1, für eine absolut undurchsichtige den Wert 0. Die Transparenz mehrerer hintereinander gelagerter Schichten ist gleich dem Produkte der Transparenzen jeder einzelnen.

2. Die Reziproke der Transparenz, also der Bruch

$$\frac{\text{auffallendes Licht}}{\text{durchgelassenes Licht}} \quad \left(\frac{i}{i''}\right)$$

wird mit Opazität bezeichnet. Der numerische Wert der Opazität beträgt für absolut durchlässige Schichten 1, für absolut undurchlässige ∞. Die Opazität mehrerer hintereinander geschalteter Schichten ist gleich dem Produkte der Opazitäten der einzelnen.

3. Der dekadische Logarithmus der Opazität entspricht dem Begriffe der Schwärzung oder der Dichte der Negative. Die Werte der Schwärzung können mathematisch zwischen Null und unendlich liegen. Praktisch liegt dieser Wert ungefähr zwischen 0 und 3 (s. V. Kap.). Die wissenschaftliche Bedeutung der Dichte (Schwärzung) der Negative oder Diapositive liegt darin, daß der numerische Wert proportional der Menge des lichtschwächenden Stoffes ist, welcher vom Strahlenbündel von bestimmten Querschnitten durchsetzt wird.

In der angewandten Photographie liegt die Schwärzung (Dichte) von Negativen bei Porträtaufnahmen vom Schatten bis zum hellsten Licht ungefähr zwischen 0,1 bis 1,5; bei mehr weichen Negativen erreicht die stärkste Schwärzung, besonders bei Landschaftsaufnahmen, nur 1,2, bei sehr kräftigen Negativen wächst sie bis etwa 2 oder 2,5, bei Strichreproduktionen etwa bis 3. Diapositivbilder für Projektionszwecke werden höchstens bis zur Schwärzung 2 (meistens weniger) entwickelt.

Die Maximaldichte bei den derzeit gebräuchlichen Bromsilbergelatineplatten mit ziemlich dicker Schichte und reichlicher Belichtung und völliger Durchentwicklung kann allerdings bis zur Dichte 5 oder 6 ansteigen, jedoch kommen solche extrem hohe Schwärzungen in der normalen praktischen Photographie kaum vor.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Schwärzung 0,8 bis 1 entspricht einem kräftigen Mittelton eines brillanten Negatives, aber sehr flaue Negative bleiben hinter diesem Werte auch in den Lichtern mitunter zurück. Selbstverständlich richtet sich die erwünschte Dichte eines Negatives in der praktischen Photographie nach der Art der Kopierpapiere (ob hart oder weich kopierend), aber es ist bemerkenswert, daß z. B. in der Kinematographie die Negative weich gehalten werden, während man sie auf wesentlich kontrastreicherem Diapositivmaterial kopiert. — In der Regel geht man in solchen Fällen zunächst von den Schwärzungsmessungen an den Negativen aus.

Tabelle über den Zusammenhang der Opazität einer photographischen Schicht mit ihrer Schwärzung.

Folgende Tabelle gibt die Zusammenstellung der Opazität einer photographischen Schicht mit der dazugehörigen Schwärzung oder Dichte.

Opazität	Dichte oder Schwärzung (Logarithmus der Opazität)	Opazität	Dichte oder Schwärzung (Logarithmus der Opazität)	Opazität	Dichte oder Schwärzung (Logarithmus der Opazität)
1000	3,0	40,0	1,6	5,6	0,75
500	2,7	35,5	1,55	5,0	0,7
316	2,5	31,6	1,5	4,5	0,65
250	2,4	28,2	1,45	4,0	0,6
200	2,3	25,1	1,4	3,5	0,55
160	2,2	22,4	1,35	3,2	0,5
141	2,15	20,0	1,3	2,8	0,45
126	2,1	17,8	1,25	2,5	0,4
112	2,05	15,9	1,2	2,2	0,35
100	2,0	14,1	1,15	2,0	0,3
89	1,95	12,6	1,1	1,8	0,25
79,5	1,9	11,2	1,05	1,6	0,2
70,8	1,85	10,0	1,0	1,4	0,15
63,0	1,8	9,0	0,95	1,26	0,1
56,3	1,75	8,0	0,9	1,0	0,0
50,0	1,7	7,1	0,85		
44,7	1,65	6,3	0,8		

Die Zahl, welche das Maß der „Schwärzung“ oder Dichte einer entwickelten und fixierten photographischen Platte im durchfallenden Licht repräsentiert, ist bei ein und derselben Plattensorte und Entwicklungsart dem Gewichte des metallischen Silbers auf der Flächeneinheit annähernd proportional und entspricht dem auf das Auge hervorgerufenen Licht-, respektive Dunkelheitseindrucke.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Dieselbe Tabelle dient auch zur Berechnung der Schwärzung photographischer Papierbilder im reflektierten Lichte; hierfür setzt man den reziproken Wert des Reflektionsvermögens der Papierbilder in die Rubrik „Opazität“ ein und findet den nebenstehenden logarithmischen Ausdruck für Schwärzung im reflektierten Lichte (s. Viertes Kapitel. X.).

Deckkraft der Silberniederschläge in Negativen oder Diapositiven.

Man nennt das Verhältnis der Silbermenge pro 100 Quadratzentimeter die photometrische Konstante (P) des Silberbildes, welche seine Dichte charakterisiert. — Bezeichnet man die Silbermenge pro 100 Quadratzentimeter mit S und die optische Dichte der Platte (Schwärzung) mit D, so ist $P = \frac{S}{D}$ oder man findet die Masse des Silbers (S) nach der Gleichung $S = P\,D$.

Zuerst haben Hurter und Driffield, dann Eder 1899 bei Bromsilbergelatineplatten mit mittlerer Empfindlichkeit und mittelfeinem Bromsilberkorn bei Verwendung von Eisenoxalat-Entwickler die quantitativen Beziehungen zwischen Silbermenge und Dichte der Negative gemessen, woran sich neuere Messungen von Eder[1]), Meidinger[2]) und Sheppard[3]) anschlossen.

In nachstehenden Tabellen sind die Befunde von Hurter und Driffield, Eder (1899), Meidinger (1924) und Sheppard (1926) sowie Sheppard und A. Ballard (Science et Ind. Phot. Juli 1928) angegeben (s. Tabelle nächste Seite).

Nach diesen Befunden ergibt sich, daß die Deckkraft des Silberniederschlages photographischer Bromsilbergelatineplatten je nach der Sorte der entwickelten Silberhaloidschicht schwankt, daß im allgemeinen das Silber der feinkörnigen Diapositiv-Platten und der nassen Kollodiumplatte etwas höhere Deckkraft aufweist als die Bromsilbergelatineporträtplatte mit ihrem gröberen Korn. Ferner geht aus den Untersuchungen von Eder, Meidinger und Sheppard übereinstimmend hervor, daß bei sehr hohen Dichten der Silberniederschläge die Photometerkonstante etwas sinkt, während

---

1) Eder, System der Sensitometrie (Sitzber. d. Akademie der Wissensch., Wien, 1899); neue Untersuchungen in „Camera“ (Luzern 1925).

2) Meidinger, Zeitschr. f. physik. Chemie 1924, Bd. 114, S. 89.

3) Sheppard, „The Covering Power of Photographic Silver Deposits“. (Phot. Journ. 1926, S. 470.)

sie für kleinere Dichten kleiner als 1,2 konstant ist. — Eder bestimmte auch die Deckkraft von kohärentem, etwas transparentem Silber von versilberten Glasspiegeln und fand, daß bereits durch 0,0039 die Dichte von 1,5 pro 100 qcm erreicht wird[1]).

Deckkraft des Silberniederschlages in Negativen.

Beobachter	Plattensorte	Silbermenge pro 100 qcm (S)	Dichte der Negative (D)	Photometr. Konstante (P)
Hurter u. Driffield	Bromsilber-Gelatine 1. mit Eisenoxalat, 2. mit Pyro-Soda	0,0131 g	1	0,0131
		0,0104 g	1	0,0104
Eder	Bromsilber-Gelatineplatte[1]) (Entwickler Eisenoxalat)	0,0057 g	0,5	0,0114
		0,0109	1,0	0,0109
		0,0195	2,0	0,0098
	Diapositiv-Platte (do.)	0,006	1,0	0,006
	Nasse Kollodiumplatte mit Eisensulfat	0,007	1,0	0,007
		0,0130	2,0	0,0065
Meidinger	Bromsilber-Gelatine-Platte (hochempfindlich, große Bromsilberkörner)	—	0,76	0,0191
		—	1,45	0,0193
			2,25	0,0189
Sheppard	Rapide Porträt-Platte	—	0,44	0,0194
			0,96	0,0192
			1,08	0,0189
			2,00	0,0180

S. E. Sheppard stellte mit sehr verschiedenem Plattenmaterial Versuche über die Deckkraft der Silberniederschläge an und fand, daß die verschiedenen Emulsionen sich sehr verschieden betreffs der Photometerkonstante verhalten. Er konnte einen Abfall der Konstante erst bei ziemlich hohen Dichten feststellen. Bei konstanter Entwicklungsdauer nimmt P mit der Dauer der Exposition zu, bald sprunghaft, bald weniger sprunghaft. Diapositiv-Platten zeigen einen regelmäßigen Verlauf.

Wahrscheinlich gehört der Grad der Veränderlichkeit von P zu den charakteristischen Eigenschaften einer Emulsion. — Die Deckkraft des eigentlichen photographischen Bildes und die Dichte des Schleiers, der bei Verwendung der Entwicklung entsteht, ist nicht dieselbe. Die maximale Dichte des Schleiers bei sehr langer Entwicklung steigt nach Sheppard nur bis 1,34, während die ausentwickelte Bromsilberschicht mit voller Belichtung bis 6,5 gestiegen war. —

Man darf nicht vergessen, daß die modernen Porträtplatten stets Emulsionsgemische sind und Komponenten verschiedener Korngröße und Empfindlichkeit enthalten.

---

1) Eder, System der Sensitometrie (Sitzber. der Akademie der Wissensch., Wien, 1899); neue Untersuchungen in „Camera“ (Luzern 1925).

Die von Eder benutzte Bromsilber-Gelatine war mittels Silbernitrat-Ammoniak und vollem Gelatinegehalt hergestellt und besaß eine Empfindlichkeit von etwa 8° Scheiner.

Der fein verteilte grauschwarze Silberniederschlag einer mit Eisenoxalat entwickelten photographischen Bromsilbergelatineplatte absorbiert das Licht über das ganze Spektrum sehr gleichmäßig, aber im Ultraviolett zeigt sich eine kleine Zone von erhöhter Ultraviolett-Durchlässigkeit bei der Wellenlänge 310 bis 320 $\mu\mu$.

Silberniederschläge, die mit Pyrogallol-Entwickler hergestellt wurden, zeigen bekanntlich eine bräunliche Färbung; diese rührt von den Oxydations-Produkten des Pyrogallols her, hängt fest am Silberbilde an und erhöht dessen photographische Deckkraft gegenüber der geringeren visuellen Dichte; — ähnlich verhalten sich die Brenzkatechin-Entwickler ohne Sulfit.

Sehr stark ist die Gelbfärbung und Deckkraft von Silberniederschlägen, die durch Entwicklung von Bromsilbergelatineplatten mit Pyrogallol und Ammoniak ohne Zusatz von Sulfit hergestellt wurden (z. B. mit Pyrogallol-Ammoniak-Glyzerin) oder Negative, die mit Urannitrat und rotem Blutlaugensalz braun verstärkt wurden.

L. A. Jones und R. B. Wilsey untersuchten die selektive Spektral-Absorption von photographischen Silberniederschlägen (Abr. Sc. Publ. Eastman 1919, S. 29, Nr. 57) und gingen von der bekannten Tatsache aus, daß gelblich gefärbte Silberschichten (Pyrogallol-Entwickler), welche optisch gleich dicht mit neutral grauen Negativen erscheinen, mit größeren Kontrasten in der photographischen Kopie auftreten. Sie unterscheiden zwischen der visuellen und der photographischen Transparenz der Silberniederschläge verschiedener Entwicklungsart und entwickeln die theoretischen Bedingungen vom physikalischen Standpunkte aus.

Demzufolge ist die effektive Kopierdichte ein spezieller Wert der photographischen Dichte, was von Jones und Wilsey in mathematische Beziehungen gebracht wurde.

Über den Effekt der Zerstreuung des Lichtes zufolge der körnigen Struktur des Silberniederschlages in den photographischen Negativen und den verschiedenen Einfluß auf die „Kopier-Dichte“ und „Projektions-Dichte“ siehe später.

Nach Scheffers ist die Konstante P wirklich konstant im Bereich der Dichte 0,08 bis 1,12, im Gebiete der Solarisation aber sinkt der Wert von P, je stärker die Solarisation auftritt, und er glaubt, daß dies mit der Kleinheit der Körner zusammenhängt (1923). P. G. Nutting untersucht die Transparenz im Zusammenhange mit der Korngröße rein theoretisch (Phil. Mag. 1, 26 [1913] p. 421); vgl. auch G. I. Higson, Phot. Il. t. 44 (1920) p. 161, welcher fand, daß die photometrische Konstante P schwankt mit dem mittleren Korndurchmesser. Weitere Untersuchungen über die Deckkraft des Silbers photographischer Negative siehe S. E. Sheppard und A. Ballard, Science et Industries Photographiques, Juli 1928, aus den Mitteilungen der Kodak-Untersuchungslaboratorien, Communication 1928. Nr. 338.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VIERTES KAPITEL.

SCHWELLENWERT, GRADATION UND DIE HAUPTPERIODEN DER LICHTWIRKUNG AUF PHOTOGRAPHISCHE SCHICHTEN. — MITTELTÖNE IN DER SENSITOMETRIE.

I. Der Schwellenwert photographischer Schichten[1]).

Die Lichtmenge, welche notwendig ist, um einen eben bemerklichen photographischen Effekt (z. B. die erste mit dem Auge wahrnehmbare Spur der Schwärzung einer entwickelten Bromsilbergelatineplatte) hervorzurufen, nennt den Schwellenwert einer photographischen Platte.

Die Bezeichnung „Schwellenwert" eines Reizes ist den Begriffen über die Physiologie der Sinnesorgane entnommen. Wenn wir z. B. den Lichtreiz von dem Werte Null anwachsen lassen, so haben wir zunächst keine Lichtempfindung, auch wenn (wie wir physikalisch feststellen können) bereits Licht in unser Auge kommt. Man bezeichnet die Intensität des Reizes, bei der eine eben merkliche Empfindung auftritt, als den „Schwellenwert des Reizes". Ist die Reizgröße zu gering, so bleibt gewissermaßen die Sinnesempfindung unter der „Schwelle des Bewußtseins", wie bereits der Philosoph Herbart sich ausdrückte. Den Wert für den Reiz, bei welchem eine Empfindung merklich stärker oder schwächer wird, nennt man in der Physiologie der Sinnesempfindungen die „Unterschieds-Schwelle". Diese Vorstellungen wurden in der Sensitometrie photographischer Platten angewendet.

Auf Grund des Weber-Fechnerschen Fundamentalgesetzes der Psychophysik ergibt sich, daß der Unterschied von je zwei Helligkeitsempfindungen als gleich groß geschätzt wird, wenn das Verhältnis der Reize des Auges das gleiche ist und zwischen den Logarithmen der Werte der Reize die gleiche Differenz besteht. In einem positiven photographischen Bilde sollen den Differenzen der Helligkeitswerte zweier Bildpunkte theoretisch die Differenzen der entsprechenden Schwärzungen in der positiven photographischen Bildreproduktion entsprechen. Die photographische Schicht besitzt ebenso wie das

---

1) Nach einer Abhandlung von J. M. Eder in der Zeitschrift „Camera", Aug. 1927.

menschliche Auge gewisse Unterschiedswellen, die meßbar sind, was sowohl zur Bestimmung des photographischen Schwellenwertes von photographischen Platten und Papieren führt, als auch zur Definition der Wiedergabe von Halbtönen in der angewandten Photographie.

A. König setzte den Wert der relativen visuellen Unterschiedsschwelle = 0,007, welchen Wert man auch zur Bestimmung der Detailwiedergabe im photographischen positiven Aufsichtsbilde übernahm.

Die Höhe des Schwellenwerts der zur photographischen Bilderzeugung nötigen Lichtmenge ist für die Charakteristik einer Bromsilbergelatineemulsion usw. sehr wichtig.

Diese Größe liegt knapp über der oberen Grenze der zulässigen „Vorbelichtung“ einer photographischen Platte, welche man vornehmen kann, ohne einen störenden „Belichtungsschleier“ zu veranlassen.

Als Maß des so definierten wahren Schwellenwertes pflegt man die wirkenden Lichtmengen ($J \cdot t$) in Sekunden-Meter-Kerzen anzugeben. Außer dem Schwellenwert für weißes Licht kommt auch der qualifizierte Schwellenwert für Licht von verschiedener Wellenlänge (farbiges Licht) in Betracht.

Die Höhe des Schwellenwertes hängt innerhalb gewisser Grenzen nicht nur von dem Produkte Intensität × Zeit ($J \cdot t$) ab, sondern auch von der absoluten Intensität des wirkenden Lichtes. Man muß also bei der Angabe des Schwellenwertes auch die Art der Belichtung angeben. Aber es stimmen die Anzeigen bei Verwendung bestimmter Normallichtquellen in bestimmtem Abstand vom Sensitometer sehr gut überein und geben genügend konstante Schwellenwerte.

Wenn man auf die photographische Platte etwas größere Lichtmengen einwirken läßt, die oberhalb des Schwellenwertes liegen, so ist zu untersuchen, in welcher Weise die Schwärzung der Bromsilbergelatineplatte mit dem Wachsen der Lichtmenge zunimmt.

Bei steigender Exposition wird die anfangs sehr schwach sichtbare Schwärzung (wahrer Schwellenwert) je nach der Natur der sensiblen Schicht mehr oder weniger rasch an Schwärzung zunehmen, so daß sich die Schwärzungen deutlich über jene des Schwellenwertes erheben. Es drückt sich also die steigende Lichtwirkung gradatim durch eine zunehmende Schwärzung aus. Man spricht in diesem Falle von einem „Schwellenwert der Gradation“ oder vom „Schwellenwert der Kontraste“ eines Negativs. Da die Entstehung von Abstufungen in Halbton-Negativen einen entscheidenden Einfluß auf die Qualität der Negative ausübt, so beginnt man in der praktischen Sensitometrie die Ablesung des

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schwellenwertes in der Regel an jener Stelle der Sensitometerskala, an der eine deutliche Abstufung der Schwärzung sichtbar zu werden beginnt; die korrespondierende Lichtmenge zeigt den „effektiven Schwellenwert“ einer Platte an. Er ist für die Empfindlichkeit der photographischen Schicht sehr wichtig und deshalb in der praktischen Sensitometrie (bei Verwendung von Stufenskalen z. B.: Scheiner, Eder-Hecht usw.) genau festzustellen.

Die schwächsten Ausläufer der Schwärzungsskala zeigen oft bei steigender Belichtung anfänglich keinen merklichen Schwärzungszuwachs und demzufolge erscheint auch die Durchzeichnung der Schatten in den Halbton-Negativen in diesen Bezirken leer und man spricht in solchen Fällen von einer „leeren Gradation“ der Platte, die für den Bildaufbau in der angewandten Photographie ziemlich wertlos ist.

Nur in jenen Fällen, in welchen man sehr schwache Lichtwirkungen auf dunklem Grund festhalten will, z. B. in der Astrophotographie, bei kürzesten Momentaufnahmen usw. ist die Lichtempfindlichkeit unmittelbar durch den wahren Schwellenwert gegeben.

Da aber solche äußerst schwache Bildstellen im photographischen Kopierverfahren (wenn sie nicht kräftig verstärkt werden) keine genügende Deckkraft besitzen, so beginnt man häufig die Ablesung des Schwellenwertes, mit Hilfe von Schwärzungs-Meßapparaten bei der Dichte = 0,1 oder 0,2. So definiert z. B. F. Formstecher (Phot. Ind. 1927, S. 1354) den „praktischen Schwellenwert“ durch die Dichte 0,1 (abzüglich des Schleiers), wie sie mit dem Martens'schen Polarisationsphotometer genau bestimmbar ist.

Den effektiven Schwellenwert rechnet man bei der Prüfung von Photomaterial von jener zartesten differenzierten Schwärzung, deren Gradation noch auf den üblichen Kopierpapieren zur Geltung kommt. Diese Minimalschwärzung der Gradation bestimmte J. M. Eder mit der Schwärzung 0,15 bis 0,20 (Sitzungsbericht d. Akademie d. Wissensch. Wien, Dezember 1900); annähernd denselben Wert gaben Loyd A. Jones und M. E. Russell am Londoner VII. Internationalen Kongreß für Photographie 1928 an und drückten die Empfindlichkeit in Werten des nützlichen „Minimum-Gradienten“ („Minimum useful Gradient“) für normal entwickelte Platten = der Dichte 0,2, in Übereinstimmung mit Eders früheren Befunden und Angaben aus.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Diese Ablesung des effektiven Schwellenwertes beim Scheiner- oder Eder-Hecht-Sensitometer mit dem freien Auge ist durchschnittlich etwas empfindlicher als die densometrische Messung. Demzufolge fallen beiderlei Empfindlichkeitswerte nicht völlig identisch aus, sondern die visuelle Ablesung ergibt in der Regel eine etwas größere Empfindlichkeitsziffer etwa + 1° Scheiner oder 2° Eder-Hecht; dieser Betrag fällt praktisch nicht ins Gewicht und kann vernachlässigt werden. Da aber die visuell abgelesenen effektiven Schwellenwerte mit den densometrisch bei den Schwärzungen 0,15 bis 0,2 ermittelten Werten des „Minimum useful Gradient" annähernd proportional verlaufen, so ergibt sich, daß beide Methoden eine wenig abweichende Empfindlichkeitszahl geben; dies ist wichtig, weil die visuelle Ablesung des effektiven Schwellenwertes mit den üblichen Skalenphotometern für den Praktiker sehr viel einfacher sich gestaltet als die photometrischen Messungen. Trotzdem wird es sich empfehlen, künftighin anzugeben, welche der Methoden der Schwellenwertbestimmung man bei der Plattenprüfung eingeschlagen hatte (Eder, Phot. Industrie, August 1928).

Benutzt man Sensitometer mit einer Skalenteilung, so genügt ein Expositions-Intervall von 1:1,2, also um ca. 20 %, um den effektiven Schwellenwert mit freiem Auge mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit zu bestimmen und dementsprechend sind die Grade des Eder-Hecht-Sensitometers abgestuft; manche Sensitometer besitzen wesentlich größere Intervalle, z. B. im Verhältnisse von 1:1,5, die für geringere Ansprüche auch genügen.

Wir wollen aber ~~als~~ den für die praktische Sensitometrie besonders wichtigen „effektiven Schwellenwert" in den Vordergrund stellen, denn er ist mit den einfachsten Hilfsmitteln sicher zu bestimmen und ist für die Charakteristik der Empfindlichkeit einer Platte von größter Bedeutung. Im Sinne der gegebenen Definition ist eine Platte um so empfindlicher für schwache Lichtreize, je kleiner ihr effektiver Schwellenwert ist.

Weil beim „effektiven Schwellenwert" der Beginn der minimalen Abstufungen (Gradation) beginnt, nennt man ihn auch wohl den „Schwellenwert der Kontraste" oder den „nützlichen Minimum-Gradienten" der Schwärzungskurve („Minimum useful Gradient" nach Loyd A. Jones und M. E. Russell, Londoner Photogr. Kongreß 1928). Erfreulicherweise nehmen die amerikanischen Forscher diesen Wert als Maß der Empfindlichkeit für Bromsilbergelatineplatten bei Kameraaufnahmen an, und kommen auf den von Eder vorher seit mehr als 20 Jahren vertretenen Standpunkt zurück, nachdem die Hurter-Driffieldsche Inertia sich als unzulänglich bei Moment- und Porträtaufnahmen erwiesen hatte.

---

1) J. M. Eder, System der Sensitometrie phot. Platten II. Abhandlung. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, Dezember 1900. II. A.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Photographische Schichten, die im Lichte sich direkt schwärzen, wie z. B. Auskopierpapiere, zeigen in den diversen Sensitometern unmittelbar den Schwellenwert.

Bei Bromsilbergelatineplatten usw. übt die Art und Zeitdauer der Hervorrufung (Entwicklung) einen entscheidenden Einfluß auf den Schwellenwert aus.

Für jede Emulsion und für jeden Entwickler von Silberhaloid-Schichten gibt es bei einer gegebenen Temperatur eine günstigste Entwicklungszeit, bei welcher der Effekt einer Minimum-Belichtung gerade noch sichtbar gemacht werden kann, oder mit andern Worten: bei welcher der Schwellenwert ein Optimum erreicht.

Für die verschiedenen Bromsilberemulsionen ist der Schwellenwert zunächst abhängig von der reduzierenden Kraft des Entwicklers und wird beeinflußt von der Konzentration der verschiedenen Bestandteile, der Temperatur und der Entwicklungsdauer. Die verschiedenen, in der praktischen Photographie verwendeten Entwicklungssubstanzen[1]) bilden zwei Serien, von denen als Rapidentwickler das Metol (oder Metol-Hydrochinon) den ersten Rang einnimmt, während als langsame Entwickler der Pyrogallol- oder Eisenoxalat-Entwickler unten stehen. Dies dient jedoch nur zur allgemeinen Orientierung. Jedenfalls ist bei sensitometrischen Versuchen die Art des Entwicklers anzugeben. Bei der Entwicklung auf „unendlich“ kann der Schwellenwert als eine einigermaßen konstante Größe angesehen werden.

Die praktische Bestimmung des Schwellenwertes einer photographischen Platte erfolgt dadurch, daß man die unter einer geeichten Sensitometer-Skala bei Normallicht oder die mit einer Skala exponierten Platte mit einem kräftigen Entwickler (z. B. Metol-Hydrochinon-Soda) solange entwickelt, bis der schwächste Lichteindruck in den zartesten Ausläufern herausgeholt ist und bis ein weiteres Fortschreiten der photographischen Schwärzung in den am schwächsten belichteten Teilen nicht mehr erfolgt, sondern durch Schleierbildung sein Ende findet. Dies dauert beim Metol-Hydrochinon-Soda-Entwickler beispielsweise gewöhnlich nur 5 bis 7 Minuten, entwickelt bei 18 Grad Celsius, mit Metol-Pottasche kürzer und mit Pyrogallol-Soda länger.

Die Ablesung des Schwellenwertes erfolgt an der fixierten und getrockneten Platte, durch Besichtigen am mattierten Glas eines diffus beleuchteten Retuschierpultes oder gegen den Himmel mit ziemlich weit vom Auge entfernten Platten. Man beachte genau jene Felder

1) Hierüber s. M. Andresen „Chemie der Entwicklersubstanzen“ Bd. III dieses Handbuchs.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

der Sensitometer-Skala, an denen die ersten deutlich wahrnehmbaren Anzeigen einer Erhebung der Schwärzung über den etwa vorhandenen Schleier stattfinden und in welcher Zone die ersten deutlichen Anzeigen einer Abstufung der Sensitometerfelder bei ansteigender Exposition sich ergeben; dies ergibt die Größen des „wahren“ und „effektiven Schwellenwertes“.

In zweifelhaften Fällen empfiehlt es sich, bei der Festlegung des Schwellenwertes zweier verschiedener Platten die nächsten Felder der Sensitometer-Skala zur Vergleichung heranzuziehen, um sich über den Verlauf des wahren Schwellenwertes sowie des effektiven zu informieren.

II. Verlauf der progressiven Schwärzung im Anschluß an den Schwellenwert.

Der wahre und der effektive Schwellenwert einer photographischen Platte sind ein wichtiges Kennzeichen der Empfindlichkeit einer photographischen Platte bei geringen Expositionen, weil er die kleinste Lichtmenge angibt, auf welche eine photographische Platte mit dem dazugehörigen Entwickler reagiert. Da aber der Schwellenwert in der angewandten Photographie nicht ausschließlich die praktische Empfindlichkeit einer Platte bestimmt, sondern insbesondere auch die Gradation bei steigender Exposition eine sehr wichtige Rolle für die Beurteilung einer Platte gibt, so genügt die Angabe des Schwellenwertes nicht für die Charakteristik einer photographischen Schicht.

Es ist bekannt, daß eine weich arbeitende Platte bei schwachem Lichte empfindlicher sein kann als eine harte, aber bei stärkerer Belichtung in den Zonen der kräftigen Schwärzung die letztere die andere bald einholen und übertreffen kann.

Diese Erkenntnis führte zu der falschen Meinung, daß der Schwellenwert überhaupt nicht geeignet sei, die Empfindlichkeit einer Platte zu kennzeichnen; dazu kam, daß Hurter und Driffield in ihren im übrigen sehr bedeutenden Untersuchungen die Empfindlichkeit ausschließlich auf die Periode der Normalbelichtung (gerader Teil der Schwärzungskurve und Fortführung zur „Inertia“) aufbauten und mit Unrecht den Schwellenwert als Empfindlichkeitsfaktor vernachlässigten. Aber die Vertreter dieser Richtung schießen weit über das Ziel, wenn sie nur die „Inertia“ ins Auge fassen, denn man darf die Bedeutung des Schwellenwertes nicht unterschätzen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Zusammenhänge zwischen der Exposition (wirkende Lichtmenge) mit der photographischen Schwärzung zeigen eine sehr bemerkenswerte Gesetzmäßigkeit, die in den sog. „photographischen Schwärzungsgesetzen“ ihren Ausdruck findet und die zur graphischen Darstellung der „charakteristischen“ Schwärzungskurven führen.

Hier sei nur in Kürze erwähnt, daß man bei progressiver Exposition vom Nullpunkt ausgehend verschiedene Stadien beobachten kann. Es ist zu erwähnen:

1. Der wahre Schwellenwert, an den sich (vom Nullpunkt ausgehend) ein verschieden langes, meist kleines Stück der „leeren Gradation“ anschließt.

2. Der effektive Schwellenwert, der den Beginn der Gradation in der photographischen Schwärzung angibt. —

3. Daran anschließend erfolgt die Schwärzung in ganz grober Annäherung, ungefähr gerade proportional der wirkenden Lichtmenge (Zone der Unterexposition). In diesem Stadium verbleibt die photographische Bromsilberplatte mehr oder weniger lang und geht dann in

4. die Periode der normalen Belichtung über, bei welcher die Schwärzung als eine lineare Funktion des Logarithmus der wirkenden Lichtmenge auftritt. Oder: Es existiert für jede Emulsion ein Intervall der Belichtung, in dem die Zunahme der Schwärzung des Silberbildes in einem geradlinigen Verhältnis zum Logarithmus der Exposition steht (s. Abb. 1. Kurvenstück *BC*), diese Zone nennt man die der „korrekten oder normalen Exposition“.

Die Einzelheiten dieser und der darauffolgenden Stadien der progressiven Belichtung gehören zu dem Kapitel der sehr komplizierten photographischen Schwärzungsgesetze, die jedoch alle ihren Ausgangspunkt vom Schwellenwert haben.

II. Angabe der Empfindlichkeit auf Grund mittlerer Schwärzungen.

Da eine photographische Platte stets mehr oder weniger kräftige mittlere Schwärzungen besitzen soll, so ist nicht nur der zarte Schwellenwert, sondern auch die Erreichung der kräftigen Mitteltöne von Bedeutung. Man hat hierauf großen Wert gelegt, namentlich zu Zeiten, wo die Industrie nicht immer Platten von zufriedenstellender Gradation erzeugte und man dann bei kurzen Expositionen nicht die nötige Deckkraft in den Lichtern erreichen konnte.

In den gewöhnlichen Fällen der Photographie erscheint jene photographische Platte praktisch als die empfindlichere, deren Anfang der Schwärzungsskala unter sonst gleichen Verhältnissen die größere Dichte aufweist.

Deshalb hatte Stolze (Phot. Wochenbl. 1883, S. 17) vorgeschlagen, an Stelle des Schwellenwertes bei sensitometrischen Empfindlichkeitsangaben mit dem von ihm erfundenen Tusche-Gelatine-Graukeil einen Mittelton zu setzen und diesen als Maß der „Empfindlichkeit“ zu wählen.

Derartige Erwägungen veranlaßten den Internationalen photographischen Kongreß in Paris (1889) bei der Sensitometrie nicht den schwächsten Schwellenwert, sondern eine etwas stärkere Schwärzung, einen sog. Normalton des Negatives, bei der Ablesung der Empfindlichkeit zu akzeptieren. Dieser Normalton tritt ein, wenn die schleierlose entwickelte Platte die Dichte von 0,35 besitzt[1]). — Dieser Wert ist merklich größer als der in neuerer Zeit als Ausgangspunkt der Schwärzungskurve angenommene Grenzwert der Dichte 0,1 oder 0,2, die man mit dem Schwellenwert in Zusammenhang bringt.

Eine Zusammenstellung von den Empfindlichkeiten verschiedener Plattensorten auf mittlere Schwärzungen von zirka 0,34 bis 0,5 gab Franz Novak in der „Phot. Korresp.“ 1910, S. 240, 280 und 325.

Später hatte auch Miethe als Methode der Empfindlichkeitsbestimmung die Größe jener Lichtmenge vorgeschlagen, welche zur Erzielung einer „erheblichen“ Dichte des Negativs (Mittelton) ausreicht (Atelier d. Phot. 1914, S. 13).

Die Stützung auf einen solchen mittleren Normalton bringt aber die große Schwierigkeit mit sich, daß die Mittelschwärzung, die ungefähr am Beginne des Gebietes der normalen Exposition liegt, sehr von dem „Gamma“, der Entwicklerart, kurz den zahlreichen Beeinflussungen der Gradation abhängt und eine Schleierkorrektur verlangt, ja bei stark schleierigen Platten nicht leicht abzulesen ist.

Mees schlug vor, Platten zu einem gleichartigen Gamma zu entwickeln und die Expositionszeit zu ermitteln, welche unter diesen Bedingungen die ziemlich große Dichte = *1* gibt.

Man mißt deshalb auch mitunter bei Halbtonaufnahmen, welche man bei Porträtplatten bis zum Gamma *0,8*, bei Landschaftsplatten bis Gamma = *1,2* (im Mittel Gamma = *1*) zu entwickeln pflegt, jene Lichtmengen, welche die Schwärzung *1* auf den verschiedenen Plattensorten erzeugen können. — Auf dieses Maß (Dichte = *1*) reduziert man auch häufig die Filterfaktoren bei normaler Entwicklung.

---

1) Nach der Reduktion von Eder (s. dieses Handbuch, III. 5. Aufl. 1903, Seite 223).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Diese Vorschläge können die Beurteilung der so wichtigen Gradation nicht restlos aufklären und man sollte deshalb die Feststellung des Schwellenwertes nicht außer acht lassen und dazu die Schwärzungskurve studieren.

II. Gradation.

Neben der Empfindlichkeit (dem Schwellenwert) einer photographischen Platte ist ihre Gradation besonders wichtig. Man versteht unter „Gradation" das Vermögen einer photographischen Schicht, Helligkeits-Unterschiede in entsprechend großem Umfange und gut abgestuft in geeigneter Progression wiederzugeben.

Nimmt die photographische Schwärzung oder Dichte im gleichen Maße zu, wie der Logarithmus der Exposition (Lichtmenge), so ist die Gradation normal; nimmt sie rascher zu und ist sie zu steil, so arbeitet die Platte „hart", im entgegengesetzten Fall arbeitet sie „weich" und in extremen Fällen „flau". Die höchsten Lichter, die im gut beleuchteten Porträt hervortreten, nennt der praktische Porträtphotograph „Spitzlichter".

Die Gradation ist eine bestimmte Eigenschaft der Emulsion selbst, überdies hängt sie in hervorragendem Grade von der Art und Zeitdauer der Entwicklung ab, ferner von einer eventuellen Vorbelichtung oder Schleierbildung.

Diese Beziehungen lassen sich sehr übersichtlich durch die graphische Darstellung der „Schwärzungskurve" darstellen.

III. Zone der Unterexposition, Normalexposition, Überexposition, neutrale Zone, Solarisation.

Wie bereits auf Seite 33 auseinandergesetzt wurde, steigt vom Schwellenwerte ab die Schwärzung mehr oder weniger rasch mit zunehmender Exposition und Entwicklung und zwar in dem Gebiete der Unterexposition nach anderen Schwärzungsgesetzen als in dem der normalen Exposition, denn bei der Unterexposition erscheint (in ungefährer grober Annäherung) die Dichte des Negativs als lineare Funktion der Exposition (Produkt von Intensität und Zeit), während in der Periode der normalen Exposition die Dichte eine lineare Funktion des Logarithmus der Exposition ist.

Dieser Übergang vom Gebiete der Unterexposition in das der normalen Exposition läßt sich graphisch nach dem System von Hurter und Driffield (1890) sehr anschaulich ausdrücken.

Das Gebiet der Unterexposition hält bei rapiden Emulsionen oder auch bei nassen Kollodiumplatten in der Regel nur kurze

Zeit an (ungefähr bis zur dreifachen Exposition über dem Schwellenwert); dann geht sie mehr oder weniger rasch in das Gebiet der normalen Belichtung über, in welcher die Zunahme der Schwärzung des photographischen Silberbildes in einem annähernd geradlinigen Verhältnis zum Logarithmus der wirkenden Lichtmenge (sog. Exposition) steht.

Das Gebiet der Normalexposition ist ausschlaggebend bei Landschafts- und Architekturaufnahmen sowie in der Reproduktionsphotographie.

In der Porträtphotographie fällt die Detailzeichnung in den Schatten in das Gebiet der Unterexposition und die Zeichnung der Lichter (insbesondere die „Spitzlichter“) in das Gebiet der Normalexposition. Die Weite dieses Gebietes ist je nach der Beschaffenheit der Bromsilberemulsion sehr variabel. Hierüber lassen sich keine starren Regeln aufstellen, jedoch kann man im allgemeinen sagen, daß Siedeemulsionen eine größere Weite im Gebiete der Normalexposition aufweisen als Silbernitratammoniakemulsionen, die früher in das Gebiet der Überexposition abbiegen (sich in den Lichtern verflachen). Die moderne Emulsionsfabrikation arbeitet mit Erfolg mit Mischemulsionen verschiedener Gradation und Empfindlichkeit.

Bei weiterer Vermehrung der Exposition schreitet die Schwärzung des Negativs mit zunehmender Lichtmenge nur sehr langsam vor und es beginnt das Gebiet der Überexposition.

Bei weiterem Ansteigen der Exposition tritt die Platte in die neutrale Zone über, in der die Dichte der Negative zunächst stationär bleibt.

Bei weiterer sehr starker Überexposition sinkt dann die Dichte des entwickelten Negativs beträchtlich und es tritt nun die „Solarisation“ ein. Die Größe der Solarisation und die hierzu erforderliche Überexposition hängt von dem Photomaterial ab; die Solarisation kann durch Zusatz von Bromakzeptoren (Kaliumnitrit usw.) gehemmt werden. (S. Bd. I. Dritte Aufl. 1906. S. 208 dieses Handb.; ferner Kapitel XVI des vorliegenden Buches.)

Mitunter kann man in sehr starkem Sonnenlicht eine mehrmalige Wiederholung dieses Prozesses beobachten, wie Moser bei Daguerreotyplatten (1842) und Janssen (1880) mit Bromsilbergelatine und Kollodium-Tanninplatten gelegentlich von Sonnenphotographien fanden.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

FÜNFTES KAPITEL.

GRAPHISCHE DARSTELLUNG DES ZUSAMMENHANGES DER LICHTINTENSITÄT ODER EXPOSITION MIT DER PHOTOGRAPHISCHEN SCHWÄRZUNG. — DIE SCHWÄRZUNGSKURVEN. — DIE GRADATION, DAS GAMMA UND DER ENTWICKLUNGSFAKTOR. — INERTIA.

I. Die Schwärzungskurve.

Die Beziehungen zwischen der wirkenden Lichtmenge und der Schwärzung photographischer Platten werden am besten durch die graphische Darstellung in Form der sogenannten „Schwärzungskurven“ oder „charakteristische Kurven“ dargestellt; man nennt solche Darstellungen der Dichtemessungen auch „Densogramme“.

Man bezieht sie nach dem allgemein akzeptierten System Hurter und Driffields[1]) auf ein Koordinaten-Netz, dessen Ab-

---

1) Die Arbeiten von Hurter und Driffield erschienen in einem Sammelband unter dem Titel: „The photographic researches of Hurter and Driffield“, herausgegeben von W. B. Ferguson, Verlag der Royal Photographie Society of Great Britain. 1920. Mit Porträten, Biographien und vollständiger Wiedergabe ihrer Publikationen.

Ferdinand Hurter war ein deutscher Schweizer, geboren am 15. März 1844 in Schaffhausen in der Schweiz. Er studierte Chemie am Züricher Polytechnikum und erwarb sein Doktorat der Philosophie in Heidelberg nach Studien bei Bunsen, Kirchhof und Helmholtz. Im Jahre 1867 ging er nach Manchester und wurde nach weiteren Studien und praktischen Arbeiten Chefchemiker in der „United Alkali Co.“ im Jahre 1890, wo er bis zu seinem Tode am 5. März 1898 blieb.

Vero Charles Driffield war am 7. Mai 1848 in Prescott in Lancashire geboren, erhielt seine Erziehung in Liverpool und später in der Privatschule eines Schweizers Dr. Knecht in Southport, arbeitete bei einem praktischen Photographen, machte weitere chemische Studien, kam mit Hurter 1871 in der Alkali-Manufaktur zusammen und führte 1876 Hurter in die Photographie ein. Sie konstruierten Belichtungsmesser usw. Am 7. Mai 1890 veröffentlichten Hurter und Driffield in gemeinsamer Arbeit ihre grundlegende Arbeit „Photochemical investigations and a new method of determination of the sensitiveness of photographic plates“, der zahlreiche Arbeiten folgten.

szisse der Logarithmus der wirkenden Lichtmenge (log Exposition) und deren Ordinate die Dichte (Logarithmus der Opazität) ist (Abb. 7 und 10).

Durch Vergleichung der Schwärzungskurven zweier Emulsionen unter gleichen Versuchsbedingungen (gleichartiger Entwicklung usw.) kann man jene finden, welche von beiden die empfindlichere ist oder welche von dieser oder jener Strahlenart mehr oder weniger beeinflußt wird und welche sich bei progressiver Belichtung rascher schwärzt. Umgekehrt kann man bei Verwendung ein und derselben Emulsion und zwei verschiedenen Entwicklern die Wirkungsweise der verschiedenen Entwicklerlösungen auf die Schwärzung photographischer Platten feststellen.

Die Schwärzungskurven besitzen eine hervorragende Bedeutung in der Sensitometrie, denn sie sind der graphische Ausdruck des Zusammenhanges der Gradation (Wiedergabe der Tonstufungen) mit der Exposition und der photographischen Schwärzung. Man ermittelt diese Kurven nach Hurter und Driffield durch Belichten einer Platte mit verschiedenen, in einer geometrischen Progression zunehmenden Expositionen und mißt die entsprechenden Schwärzungen der entwickelten und fixierten Platte; die Entwicklung wird meistens in drei verschiedenen Entwicklungszeiten vorgenommen und dazu konstruiert man in ihrem oben erwähnten Koordinatennetz die Schwärzungskurven.

Hurter und Driffield gaben ihr System zur Konstruktion der charakteristischen Schwärzungskurve im Jahre 1890 bekannt und faßten es 1894 vor einem Spezialkomitee der Photographischen Gesellschaft in London (Brit. Journ. of Photo. 1894, S. 714 und 724) zusammen.

Die Royal Society of Great Britain sammelte die wichtigen verschiedenen Publikationen Hurter und Driffields, siehe die Fußnote auf voriger Seite. — Ältere Beschreibungen dieses Systems siehe Chapman Jones (Phot. Journ. 1890, Bd. 15, S. 9); Acworth (ibid. Bd. 19, S. 208). — Ferner s. O. Bloch (Phot. Journ. 1917, Bd. 57, S. 51; 1924, Bd. 64, S. 183; 1925, Bd. 65, S. 181 und 186) u. A.

Stolze hatte im Jahre 1883 (Phot. Wochenbl.; ferner Eders Ausf. Handbuch der Photographie I. 2. 1891. 2. Aufl. S. 305) die Bedeutung der Schwärzungskurven zur Bestimmung der Gradation erkannt. Er trug in sein Koordinatennetz die Lichtintensitäten und Undurchsichtigkeiten unmittelbar ein, während man heute allgemein (nach Hurter und Driffield) die Logarithmen dieser Größen zur graphischen Darstellung benutzt, was zu viel übersichtlicheren Darstellungen führt; aber Stolze hat im Prinzip vollständig die Bedeutung der sogenannten „Schwärzungskurven“ erkannt. Auch zeigte er die Herstellung von Schwärzungs-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

kurven mit Bezug auf die Wirkung des farbigen Spektral-Lichtes, indem er in sein Koordinatennetz die Wellenlängen des wirkenden Lichtes und andererseits die entsprechenden Undurchsichtigkeiten eintrug.

An Abbildung 7 ist die Form der Schwärzungskurve in den Gebieten der Unterexposition (AB), der normalen Exposition (BC) und der Überexposition (CD) ersichtlich.

Alle Schwärzungskurven entwickelter photographischer Platten steigen in der Periode der Unterexposition langsam an und beginnen mit einem konvexen, gegen die Abszisse gekrümmten Stück (AB in Abb. 7). In der Periode der normalen Exposition steigt das nahezu gerade Stück der Kurve annähernd geradlinig mehr oder weniger steil an (BC) und wendet sich dann bei stärkerer Belichtung bei C in Abb. 7 zu einem konkaven Teil (nimmt eine S-Form an) und dann geht die Kurve in dieser Periode der Überexposition allmählich in eine Parallele zur Abszisse über (neutrale Zone); in der Periode der Solarisation senkt sie sich wieder, d. h. die Schwärzung nimmt wieder ab (vgl. S. 36).

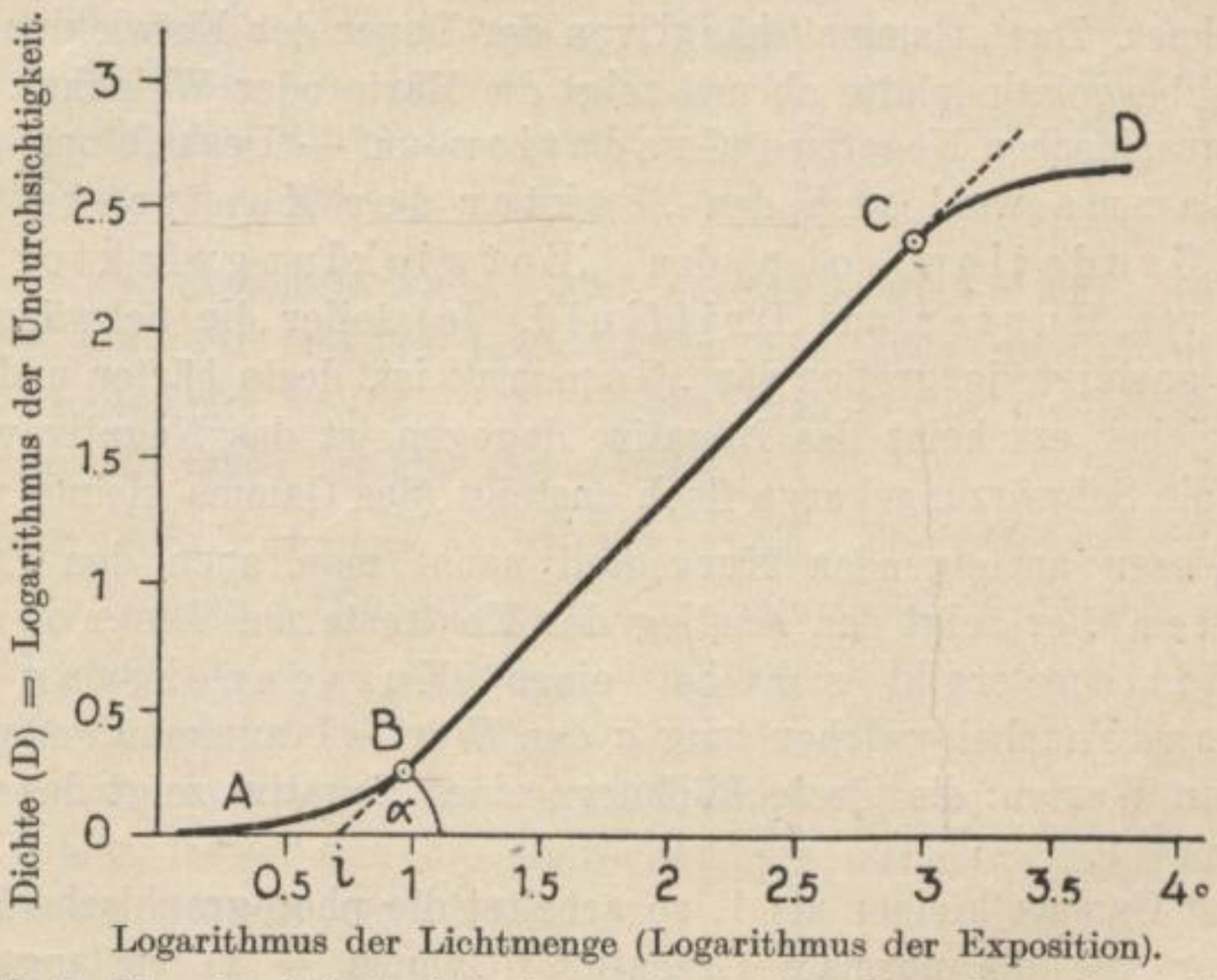


Abb. 7. Charakteristische Schwärzungskurve einer Bromsilbergelatineplatte.

Das gerade Stück der Schwärzungskurve zwischen Anfang und Ende, bezogen auf die dazugehörigen Belichtungszeiten, gibt den „Spielraum“ oder die „Latitude der korrekten Belichtungszeit“ der Platte an[1]).

1) Allerdings kommt der Expositionsbereich der gesamten Kurve von A bis D bei sehr kurzen oder sehr langen Belichtungen in der angewandten Photo-

Zeigen die Platten einen merklichen Schleier, so mißt man an einer unbelichteten Stelle die Schwärzungszahl des Schleiers; sie wird von jener der geschwärzten Sensitometerfelder abgezogen, bevor man die Schwärzungskurve konstruiert; dies ist genauer im Kapitel XII erörtert.

Verlängert man das gerade Stück der Kurve (Abb. 7) bis zum Schnittpunkte *i* mit der Horizontalen (Abszisse), so ergibt die „Inertia“ nach der Nomenklatur von Hurter und Driffield (*i* in Abb. 7) — ein nicht sehr glücklich gewählter lateinischer Ausdruck, der auf Deutsch „Trägheit“ bedeutet — welche in Sekunden-Meter-Kerzen ausgedrückt den reziproken Wert der Empfindlichkeit angibt.

Dieses gerade Stück (*BC* in Abb. 7), verlängert gegen die Abszissenachse (log Expos.-Achse), schließt den Neigungswinkel α ein, dessen Tangente (*tang* α) man nach dem Vorgange von Hurter und Driffield mit dem griechischen Buchstaben γ, d. i. Gamma, bezeichnet. Das „Gamma“ hängt von der Dauer der Entwicklung der Bromsilbergelatineplatte ab und zeigt die Härte oder Weichheit eines photographischen Negatives (Gradation) an. — Deshalb nennt man das Gamma wohl auch den „Faktor der Kontraste“ oder der „Gradation“ oder den „Entwicklungsfaktor“ im Sinne von Hurter und Driffield. Je steiler die Schwärzungskurve ansteigt, je größer das „Gamma“ ist, desto härter und kontrastreicher erscheint das Negativ; dagegen ist das Negativ weich, wenn die Schwärzungskurve flach ansteigt (das Gamma kleiner wird).

Diesen ansteigenden Kurventeil nennt man auch den „Gradienten“; er zeigt den Anstieg der Kontraste an. Die normale Gradation ergibt sich bei einer Kurvenneigung von 45 Graden, bei welcher tang α den Wert = 1 annimmt, oder mit anderen Worten: die ideale Bildkurve eines Negativs zeigt den Wert Gamma = 1.

Ist Gamma kleiner als 1, so arbeitet die photographische Platte weicher als die normale Gradation (Gamma = 1) verlangt; für

---

graphie in Betracht, jedoch mangelt den Zonen *A B* und *C D* die theoretisch korrekte Wiedergabe der Halbtöne. Die Zone der Unterexposition ist für Momentaufnahmen und Porträtaufnahmen von Bedeutung.

Das Gamma ist nicht nur eine Funktion der Entwicklungszeit, sondern auch für eine gegebene Entwicklungszeit, eine Funktion der Wellenlänge der zur Beleuchtung benutzten Strahlung; bei den praktischen Proben der Phototechnik kommt letzteres wenig in Betracht (s. Kap. XIII).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Landschaftsaufnahmen stimmt dieser theoretische Faktor Gamma = 1 (0,9—1,1) mit der Praxis überein; Porträtaufnahmen sollen aber weicher entwickelt werden, etwa bis zum Gamma = 0,6 bis 0,8, wenn sie praktisch korrekte Negative für die gebräuchlichen Kopierverfahren abgeben sollen. Diapositivplatten, z. B. Kinopositivfilme, werden mit größerem Gamma als die Negativ-Halbtonfilme entwickelt, ungefähr zu Gamma = 2; ähnliches gilt von den positiven Emulsions-Kopierpapieren (Gaslichtpapier mit Entwicklung), die man zu wesentlich höherem Gamma zu entwickeln pflegt als die Negative. Bei Reproduktionsplatten (Autotypie) soll das Gamma bis 2 getrieben werden. Diapositiv-Emulsionen sind klarer, weniger empfindlich, arbeiten kontrastreicher mit steilerer Schwärzungskurve (Abb. 8) und können die Kurve für den Negativfilm schneiden und überholen. Längere Entwicklung bei kurzer Belichtung steigert die Steilheit der Kurve. Vgl. ferner die sich schneidenden Schwärzungskurven von Porträt- und photomechanischen Platten in Abb. 10 b.

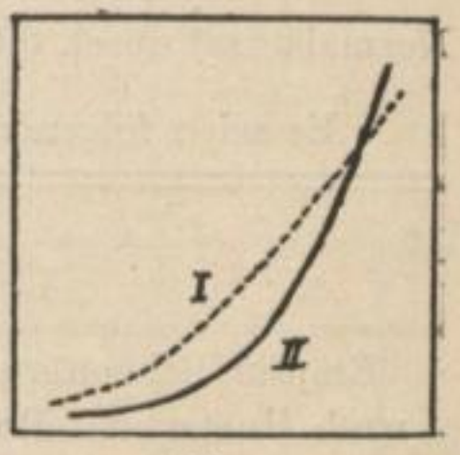


Abb. 8. Schwärzungskurven. — *I.* Kinonegativfilm. — *II.* Kino-Positivfilm im Bereiche der gebräuchlichen Belichtung.

Die Schwärzungskurven oder „Densogramme“ werden meistens nur auf relative Logarithmen der Exposition (*log* Exp. = *log* Lichtmenge = *log* $J. t$) bezogen, was ja für die allgemeine Übersicht und erste Annäherung genügt.

Trägt man auf der log Expos.-Achse die wirkenden Lichtmengen in Sekunden-Meter-Kerzen in geometrischer Progression auf, so erhält man wertvolle Angaben; man kann in den Kurven sowohl den Schwellenwert ausgedrückt in *S. M. K.* angeben, desgleichen die „Inertia“ in Sekunden-Meter-Kerzen und mit Hilfe dieser Zahlen lassen sich die Umrechnungen auf die verschiedenen Sensitometer-Systeme vornehmen.

Der Schwellenwert und der Wert für die „Inertia“ sind umgekehrt proportional und es ergibt sich daher die Gleichung

$$\text{Empfindlichkeit} = \frac{1}{i} : K,$$

wenn man die Empfindlichkeit auf die Inertia (i) bezieht; K ist eine von der Emulsions-Art abhängige Konstante. Analoges gilt für den Schwellenwert.

Die Hurter und Driffieldsche Empfindlichkeitszahl einer Platte (englisch „Speed“) ist also verkehrt proportional mit der „Inertia“ und wird durch einen Quotienten ausgedrückt, dessen Zähler die von Hurter und Driffield willkürlich angenommene konstante Zahl 34, während der Nenner die in Sekundenmeterkerzen ausgedrückte „Inertia“ ist.

Die Empfindlichkeit einer Bromsilbergelatineplatte nach dem System Hurter und Driffield wird somit durch die Inertia (gemessen mit der englischen Normalkerze) durch die Formel: Empfindlichkeit $= \frac{34}{i}$ ausgedrückt.

Es seien folgende Beispiele erwähnt:

	Plattensorte			
	wenig empfindl.	mittel	rapid	extrarapid
Empfindlichkeitszahlen nach Hurter und Driffield	10	100	500	800

Nach diesem System werden in England häufig die Empfindlichkeitszahlen von Bromsilber-Gelatine-Platten vom Fabrikanten und im Handel angegeben, obwohl das System recht mangelhaft ist.

Im Jahre 1924 machte das U. S. Bureau of Standards in Washington den Vorschlag, die Empfindlichkeit (Speed) der Platten mittels der „Inertia“ (i) Hurter und Driffield zu bestimmen, aber auf das dekadische System zurückzuführen und durch den Quotienten $\frac{10}{i}$ auszudrücken, welchem Vorschlage sich T. Thorne Baker in der wissenschaftlichen und technischen Gruppe der Londoner Photographischen Gesellschaft (die sich mit der Standardisierung der Methoden der Plattenprüfung im Jahre 1924 befaßte) anschloß und ihn im Phot. Journ. 1925, S. 185 vertrat. Dieser Vorschlag ist sehr beachtenswert und wurde z. B. von H. Carol1 und Donald Hubbard (Bureau of Stardards) gelegentlich ihren Untersuchungen über Sensibilisierung von Bromsilbergelatine mit kolloidalen Substanzen aufgegriffen, wobei die Empfindlichkeit als „Bureau of Standards Speed“ (B. Suspeed) bezeichnet wurden (Brit. Journ. of Phot. 1928, S. 724).

Die Schwärzungskurven lassen sich leicht mittels der in geometrischer Progression belichteten Streifen von richtig geeichten Skalen-Photometern konstruieren, z. B. mittels des Eder-Hechtschen Graukeil-Sensitometers oder anderen Graukeilen, mit dem Scheinerschen Sensitometer usw., deren Angaben auf Sekundenmeterkerzen bezogen sind und welche mit dem Hartmannschen Polarisations-Photometer exakt ausgewertet werden können. — Man erhält so die Schwärzungskurven einschließlich der „Inertia“ und der Empfindlichkeit in Sekundenmeterkerzen und selbstverständlich auch die Gradation, den Schwellenwert und kann auch die Größe der Schleierbildung messen.

Diese Sachlage geht aus der Abbildung 9 hervor, welche Eders „Rezepten, Tabellen und Arbeitsvorschriften“ 12. und 13. Auflage, 1927 (W. Knapp in Halle) entnommen ist.

Auf dem Koordinatennetz in Abb. 9 sind auf der Ordinate die Dichten (Logarithmus der Opazität) des Negativs, andererseits sind auf der Abszisse die dem Logarithmus der Exposition entsprechenden Sekundenmeterkerzen aufgetragen. — Oben sind die dem Logarithmus der Exposition zugehörigen Sensitometergrade des Eder-Hechtschen Sensitometers angegeben, welche den dazu gehörigen, unten angeführten wirkenden Lichtintensitäten entsprechen.

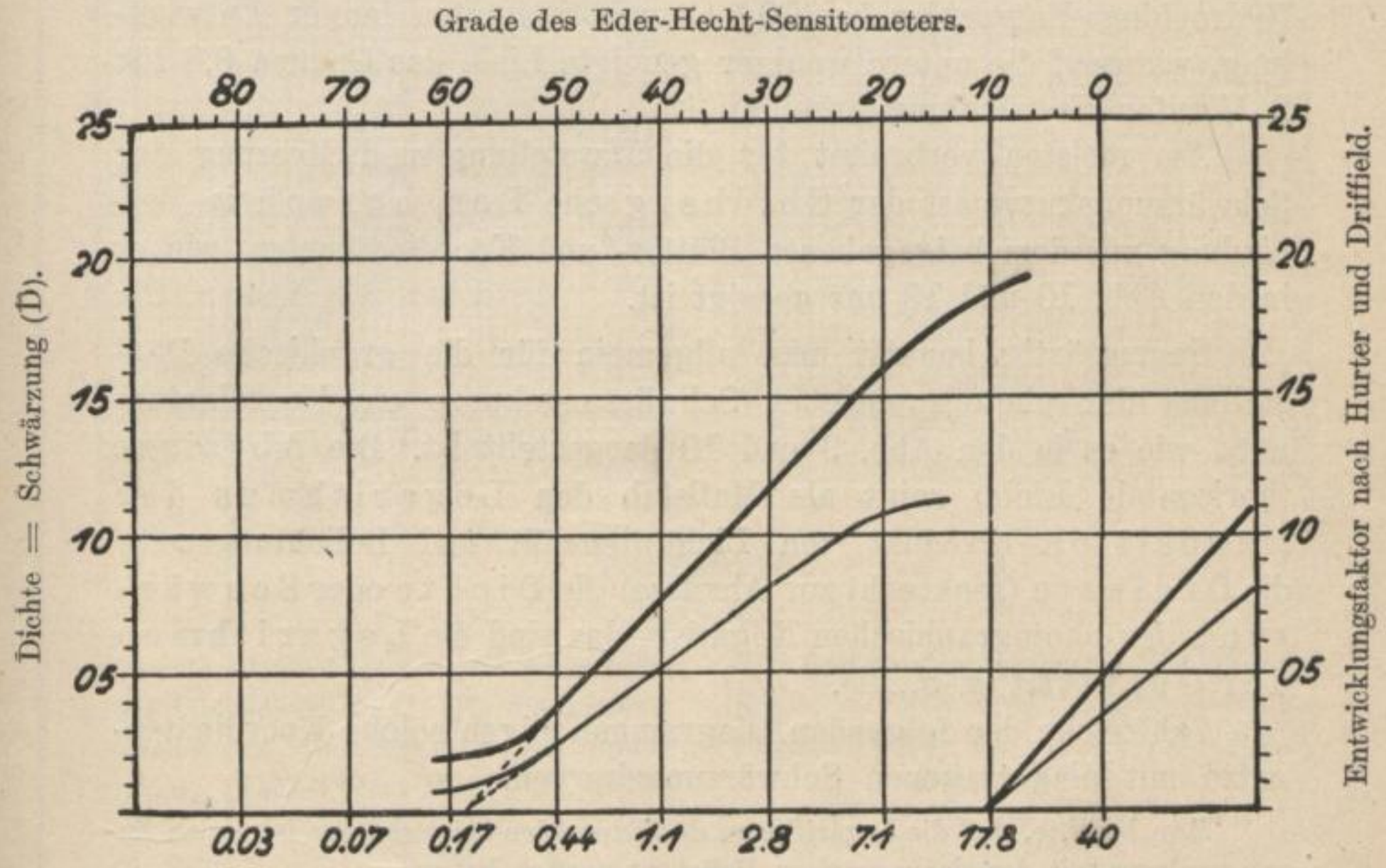


Abb. 9. Log. Exposition (Lichtmenge in Sekunden-Meter-Kerzen).

Prüfung einer Plattensorte mit dem Graukeil zur Konstruktion der Schwärzungskurve. Inertia — 0,20 S. M. K. — „Actinograph Speed" = 34 : 0,20 = 170. — Entwicklungsfaktor mit Metol-Hydrochinon bei + 18° C in 4 Minuten = 1,1.

(Die Angaben der Abbildung gelten für Eder-Hecht-Sensitometer, belichtet im Abstande von 1 m und mit 2 mg brennendem Magnesiumband oder mit einer Amylazetatlampe im Abstande von 1 m und 1 Minute Expositionszeit.)

Als Lichtquelle bedienten sich Hurter und Driffield ursprünglich der sehr ungenauen englischen Walratkerze, an deren Stelle später die viel genauere Hefnerkerze im Abstande von 1 m mit einer Belichtungszeit von einer Minute trat, oder eine entsprechende Menge von 2 Milligramm brennenden Magnesiumbandes (nach Eders Vorschlag). — Auf diese Weise erhält man die Schwellenwerte und den weiteren Verlauf der Kurve einschließlich der Inertia, bezogen auf normalisierte Lichtmengen. — In unserem Beispiele

Abb. 8 ist der Schwellenwert = 0,15 Sekundenmeterkerzen, die Inertia = 0,30 Sekundenmeterkerzen und die Hurter und Driffieldsche Empfindlichkeitszahl („Actinographic Speed") wird durch die Division 34:0,30 = 110 ermittelt.

Durch Ziehen von parallelen Linien in dem rechts befindlichen Quadrat (Abb. 9) findet man das Gamma (oder den „Entwicklungsfaktor") nach Hurter und Driffield = 1,1 für Metol-Hydrochinon-Entwickler bei 10° C und 4 Minuten langer Entwicklung, während die untere weniger geneigte Linie das Gamma 0,8 für 2 Minuten Entwicklung anzeigt.

Am meisten verbreitet für die Darstellung und Messung der Schwärzungskurve ist der Goldbergsche Densograph in Verbindung mit dem beigegebenen Blätter- und Koordinatennetz, wie er in den Abb. 10 und 15 uns gezeigt ist.

Gegenwärtig benutzt man allgemein für die graphische Darstellung der photographischen Schwärzungskurve ein Koordinatennetz, wie es in den Abb. 9 und 10 dargestellt ist. Die Abszisse (horizontale Linie) zeigt als Maßstab den Logarithmus der Exposition (Produkt von Lichtintensität und Belichtungszeit), die Ordinate (senkrecht zur Abszisse) die Dichte oder Schwärzung der photographischen Negative, das sind die Logarithmen der Opazität (s. S. 21).

Zahlreiche der folgenden Diagramme zeigen solche Koordinatennetze mit eingetragenen Schwärzungskurven.

Man beachte, daß die Logarithmen der Exposition beispielsweise folgenden Zusammenhang mit den dazugehörigen Belichtungszeiten haben:

Belichtungszeit	1	2	4	8	16	32	64	128 usw.
Logarithmus derselben	1	2	3	4	5	6	7	8 usw.

In der Regel drückt man die Exposition in Meter-Kerzen-Sekunden aus (s. S. 10).

In Abb. 10a sind die Schwärzungskurven von drei verschiedenen Plattensorten wiedergegeben, welche die gleiche Schwellenwertempfindlichkeit besitzen, aber sich gegen größere Lichtmengen sehr verschieden verhalten; sie geben bei gleichartiger Entwicklung bei Platte I die Schwärzung 3,1, bei Platte II die Schwärzung 2,5, bei Platt III die Schwärzung 1,85. Daraus geht hervor, daß die drei Platten trotz gleicher Empfindlichkeit ganz verschiedene Negative ergeben werden. Die Trockenplattenfabrikation paßt sich dem Bedürfnis nach hart und weich arbeitenden Platten an.

Abb. 10b zeigt die Densogramme (Schwellenwert und Schwärzungskurve) einer photomechanischen Platte, verglichen mit

einer gleichzeitig belichteten und entwickelten ultrarapiden Porträtplatte von Otto Perutz in München, die einen sehr verschiedenen Schwellenwert und sehr verschiedene Gradation bei konstanter Entwicklung aufweisen. Man erkennt, daß die photomecha-

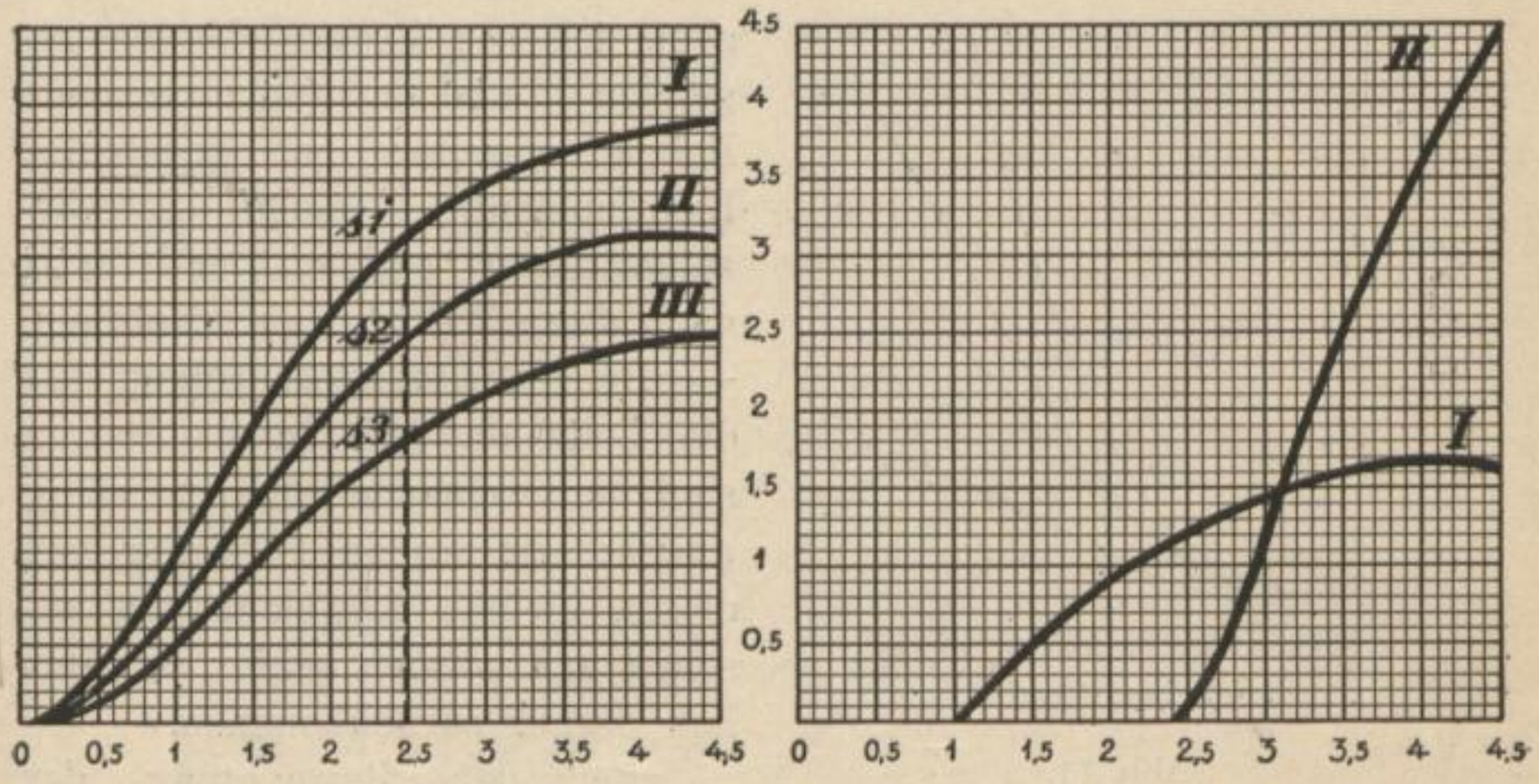


Abb. 10.

a) Gradationskurven von drei verschiedenen Plattensorten (I, II, III) die gleichen Schwellenwert, aber verschiedenes Gamma besitzen. (Nach Perutz Mitt. 1927, Nr. 3.)

b) Gradationskurve einer sehr hochempfindlichen Platte (I) und einer photomechanischen Platte (II). (Nach Perutz Mitt. 1927. Nr. 3.)

nische Platte II eine sehr viel längere Exposition zur Erreichung des Schwellenwertes bedarf als die Platte I. Nach der stärkeren Schwärzung 1,5 aber überholt die photomechanische Platte II die Ultra-Rapidplatte I an Kraft der Schwärzung, arbeitet also viel härter als die Platte I.

Die Skalen-Photometergrade aller Art, darunter die Keil-Photometer, das Scheiner-Sensitometer, entsprechen einer Progression des Logarithmus der steigenden Lichtintensität, ausgedrückt durch den Logarithmus der Exposition; die Skalenwerte können unmittelbar in das Koordinatennetz eingetragen werden, z. B. Scheinergrade, Eder-Hechtgrade usw.

Abbildung 11 zeigt die Ermittlung der Schwärzungskurven mit dem Scheiner-Sensitometer bei verschiedenlanger Entwicklung mit Pyrogallol-Soda-Entwickler (nach Eder).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Man ersieht die starke Zunahme der Dichte und die Steigerung der Kontraste bei der Entwicklungsdauer von 1, 2, 4 und 5 Minuten. In der Abbildung 11 sind in der Abszisse die Scheinergrade eingetragen, während die Ordinate die Dichte (Schwärzung) angibt.

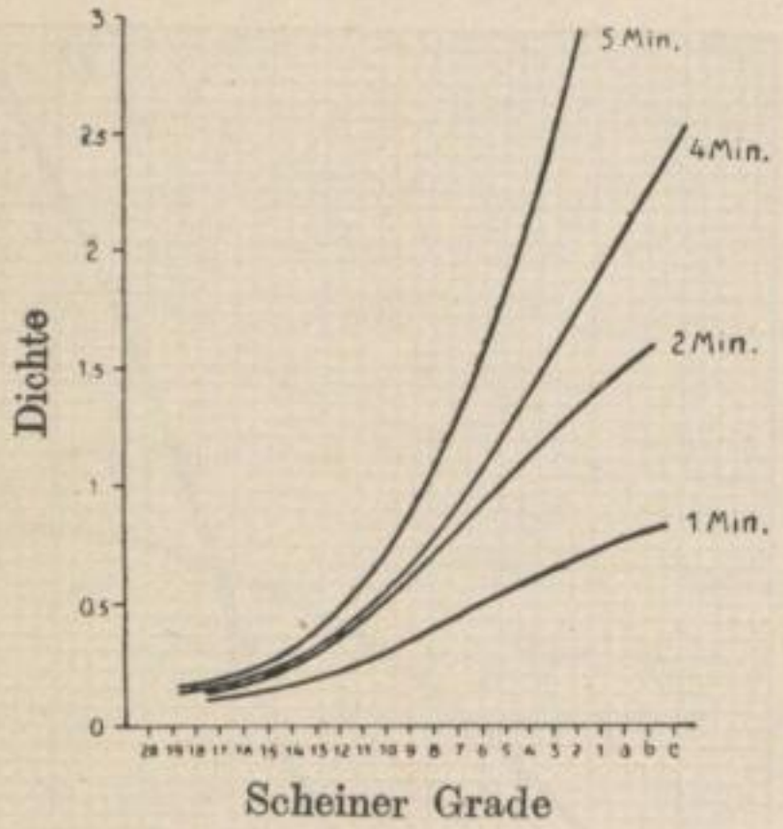


Abb. 11.
Grade des Scheiner-Sensitometers (log Expos.). — Schwärzungskurven bei verschieden langer Entwicklung von Bromsilber-Gelatine-Platten mit Pyrogallol-Soda-Entwickler (Eder).

Man kann auch durch eine in geometrischer Progression ansteigenden Zeitskala (entsprechende Belichtungszeiten bei konstanter Lichtintensität) solche Schwärzungskurven erzielen und setzt dann diese Werte in das Netz ein. — Die Sensitometeranzeigen für die Zeitskala und Intensitätskala sind untereinander nicht völlig gleich; wir wollen vorläufig von diesen kleinen Abweichungen absehen und werden später ausführlich darauf zurückkommen.

Bei der Betrachtung der graphischen Darstellungen der Schwärzungskurven in Abb. 10, 11, 14 und 15 macht den immer steiler werdenden Anstieg der Schwärzungskurve mit verlängerter Entwicklungsdauer ersichtlich. — In ähnlicher Weise wird der Einfluß der Zusammensetzung der Entwicklerlösungen und ihre Temperatur auf die Gradation (Kontraste der Negative) dargestellt. — Bei entsprechend langer Entwicklungsdauer („Entwicklung unendlich") wird die Gradation stationär.

Bei allen diesen Versuchen ist ein gutes und andauerndes Bewegen der Entwicklerflüssigkeit über die zur Untersuchung photographische Platte erforderlich.

II. Graphische Darstellung des Zusammenhanges des Gamma mit der Exposition und der Entwicklungszeit.

Im allgemeinen nimmt man als erste Annäherung an, daß bei den praktisch verwendeten Belichtungszeiten das Gamma (die Gradation) von der absoluten Lichtintensität annähernd unabhängig ist, wenn man gleich lange entwickelt, weshalb man log Expos. als Produkt

von $J \cdot t$ einsetzt. — Belichtet man Streifen von Bromsilberplatten, ansteigend z. B. mit der Belichtungszeit 1, 2, 4 usw. oder bei gleicher Belichtungszeit mit steigender Lichtintensität und entwickelt sie alle gleichzeitig, so sollen die Schwärzungskurven parallel verlaufen, wie Abb. 12 schematisch darstellt.

Man nimmt in der praktischen Sensitometrie in Übereinstimmung mit Hurter und Driffields These an, daß bei gleich langer

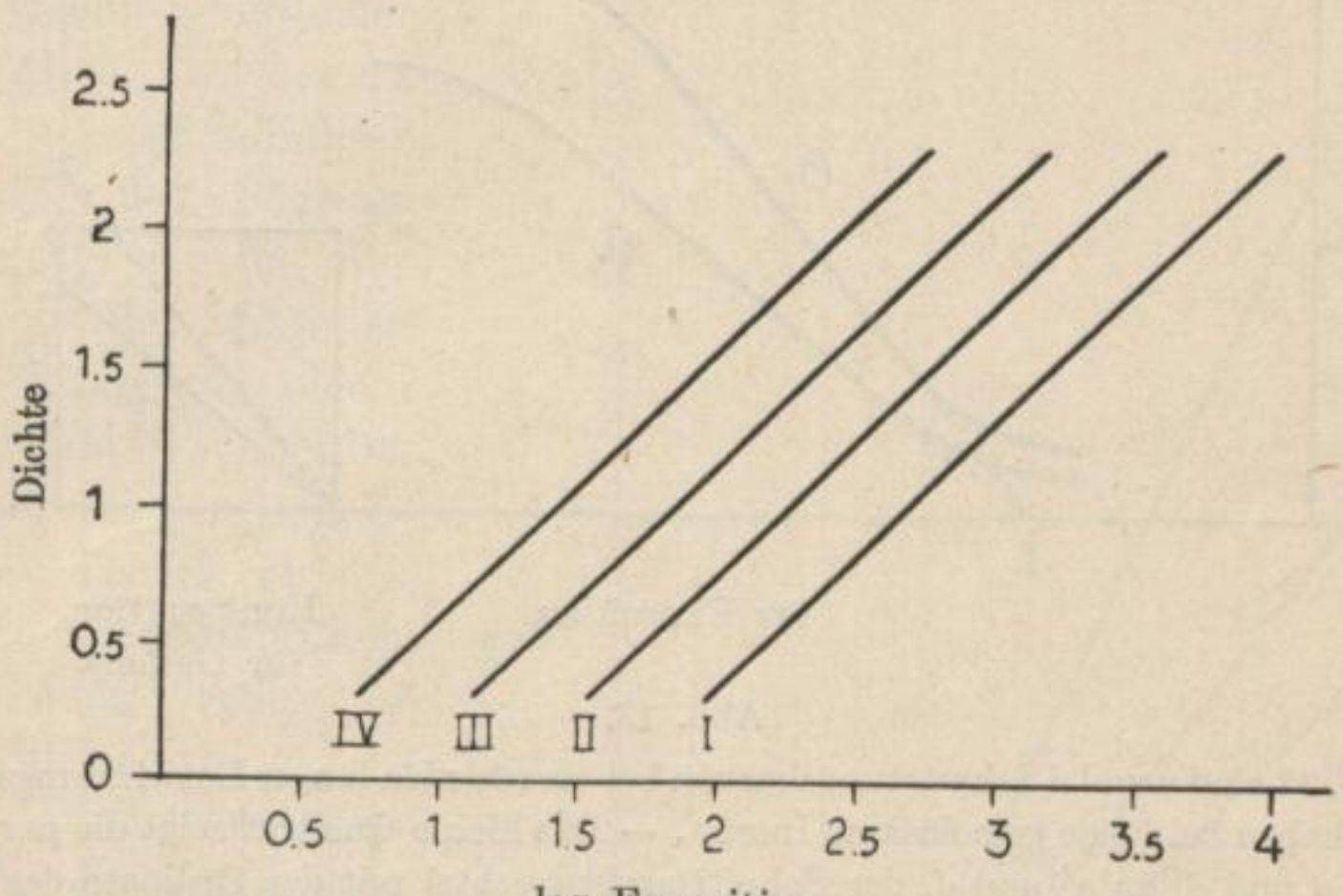


Abb. 12.

Schematische Darstellung der Unabhängigkeit des Gamma (der Gradation von der Lichtintensität bei gleichlanger Entwicklung).

Die Linien I, II, III und IV zeigen den parallelen Verlauf des normalen Teiles der Schwärzungskurve bei zunehmender Exposition, aber gleichbleibender Entwicklungszeit.

Entwicklungszeit und verschiedenen Lichtintensitäten derselbe Wert für Gamma resultiert. Allerdings ist dieser Satz nur insolange als allgemein gültig angesehen worden, bevor man die unvollkommenen Messungsmethoden zu Ende des vorigen Jahrhunderts, welche mehr oder weniger stark auftretende Abweichungen nicht erkennen ließen, während genauere Messungen zeigten, daß der absolute Wert der Lichtintensität von namhaftem Einfluß sein kann (s. S. 67), deshalb ist es empfehlenswert, bei genaueren Untersuchungen nicht nur die Lichtmenge als Produkt von $J \cdot t$ anzugeben, sondern auch den Wert für J in Sekundenmeterkerzen.

Für die technische Sensitometrie innerhalb der für die photographische Praxis zulässigen Fehlerweiten kann man die obige Regel des parallelen Verlaufes der Schwärzungskurve bei gleich langer Exposition und variabler Lichtintensität als zutreffend annehmen, was auch allgemein geschieht[1]).

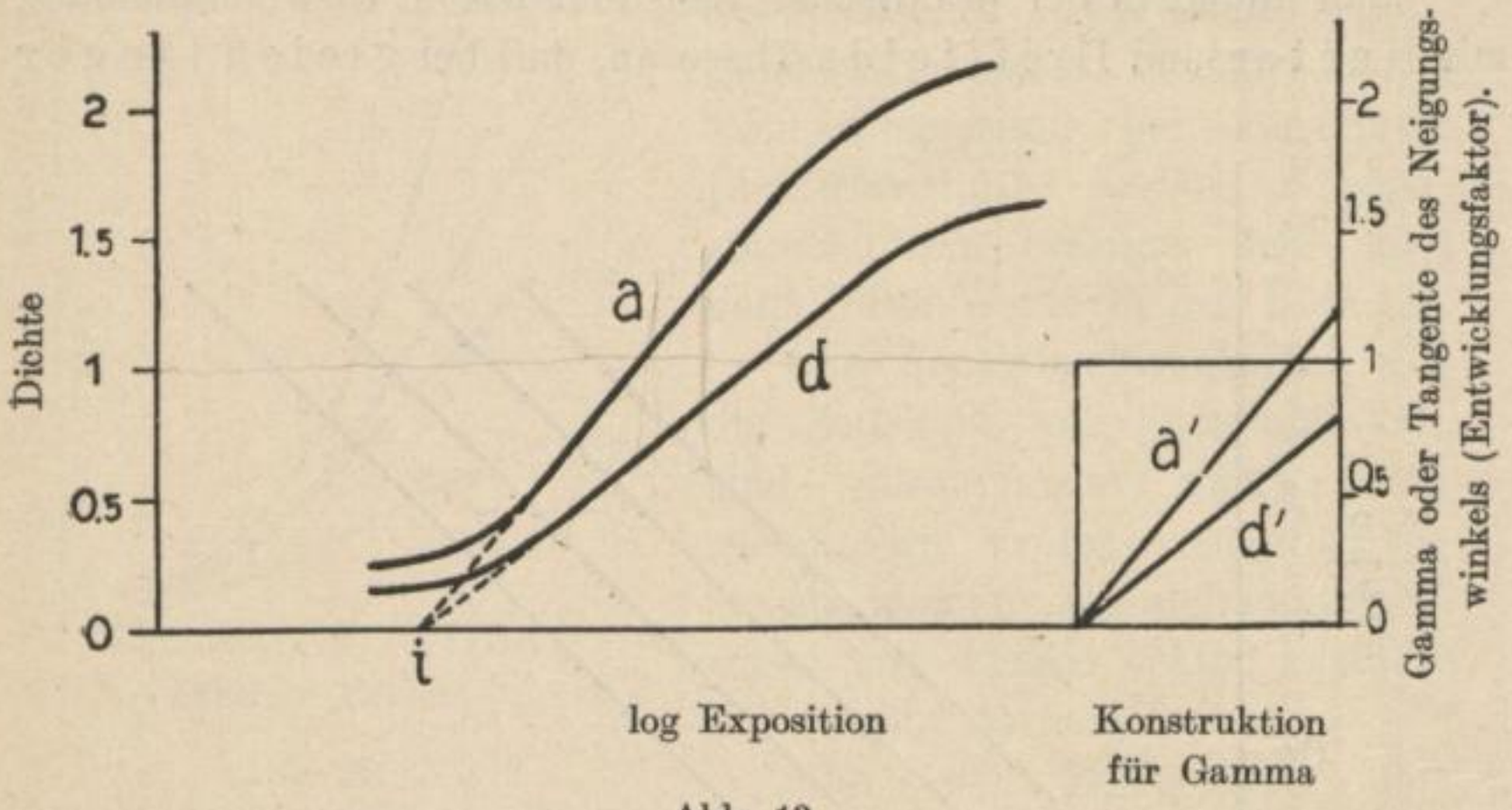


Abb. 13.

In Abb. 13 sind *a* und *d* Schwärzungskurven bei verschieden langer Entwicklungsdauer. — Sie haben bei *i* eine gemeinsame Inertia. — Das kleine Quadrat zeigt die parallelen Linien *a* und *d′* zu *a′* und *d*, der Schnittpunkt (rechts) mit der Ordinate des Koordinatennetzes (Abb. 12) ergibt den Wert von Gamma, d. i. 0.8 und 1.2.

Der Anstieg der Gradation oder des Gamma bei gleicher Exposition[2]) (Lichtmenge) hängt somit in erster Linie von der Entwicklungsdauer ab, aber auch von der Dicke der Emulsionsschicht[3]) und der Tiefe des Eindringens des Entwicklers. Je länger die Entwicklungszeit ist, desto steiler wird bis zu einem Grenzwerte die Schwärzungskurve und die Verlängerung der geraden Stücke dieser Kurven konvergiert in grober Annäherung

1) Strauß fand, daß in der Praxis des Kopierens von Filmnegativen auf die gebräuchlichen, wenig empfindlichen Diapositiv-Emulsionen sich weder ein Einfluß der Lichtintensität auf das Gamma, noch ein Einfluß der Variationen des Schwarzschildschen Exponenten *p* beim Verarbeiten der verschiedenen Fabrikate bemerkbar macht (Phot. Industrie 1924, S. 907).

2) Vgl. Baylay (Eders Jahrbuch f. Phot. 1895, S. 408) und Abney (Jahrbuch 1899).

3) Sehr eingehende Untersuchungen stellte Eberhard an und fand, daß dickere Emulsionsschichten eine steilere Gradation geben und daß die Schleierbildung wächst (Publikat. des Astrophys. Observ. zu Potsdam 1926, Nr. 84).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

zu demselben Schnittpunkte mit der log-Expos.-Achse, so wie es die (allerdings nicht streng gültige) Theorie von Hurter und Driffield fordert und diese zum Begriff der „Inertia“ führte. — Abb. 13 zeigt den Verlauf der Schwärzungskurven ein und derselben Platte bei längerer und kürzerer Belichtung, ferner der Schnittpunkt der Kurvenneigung bei i (Inertia) und zeigt ferner, wie man in dem Koordinatennetz die Werte für tang α oder „Gamma“ graphisch leicht darstellen kann.

Noch deutlicher ist diese Konvergenz der geradlinigen Stücke der Schwärzungskurve in der Periode der normalen Exposition zu einem gemeinsamen Schnittpunkt mit der Log-E-Achse in der vereinfachten schematischen Zeichnung Abb. 14 ersichtlich.

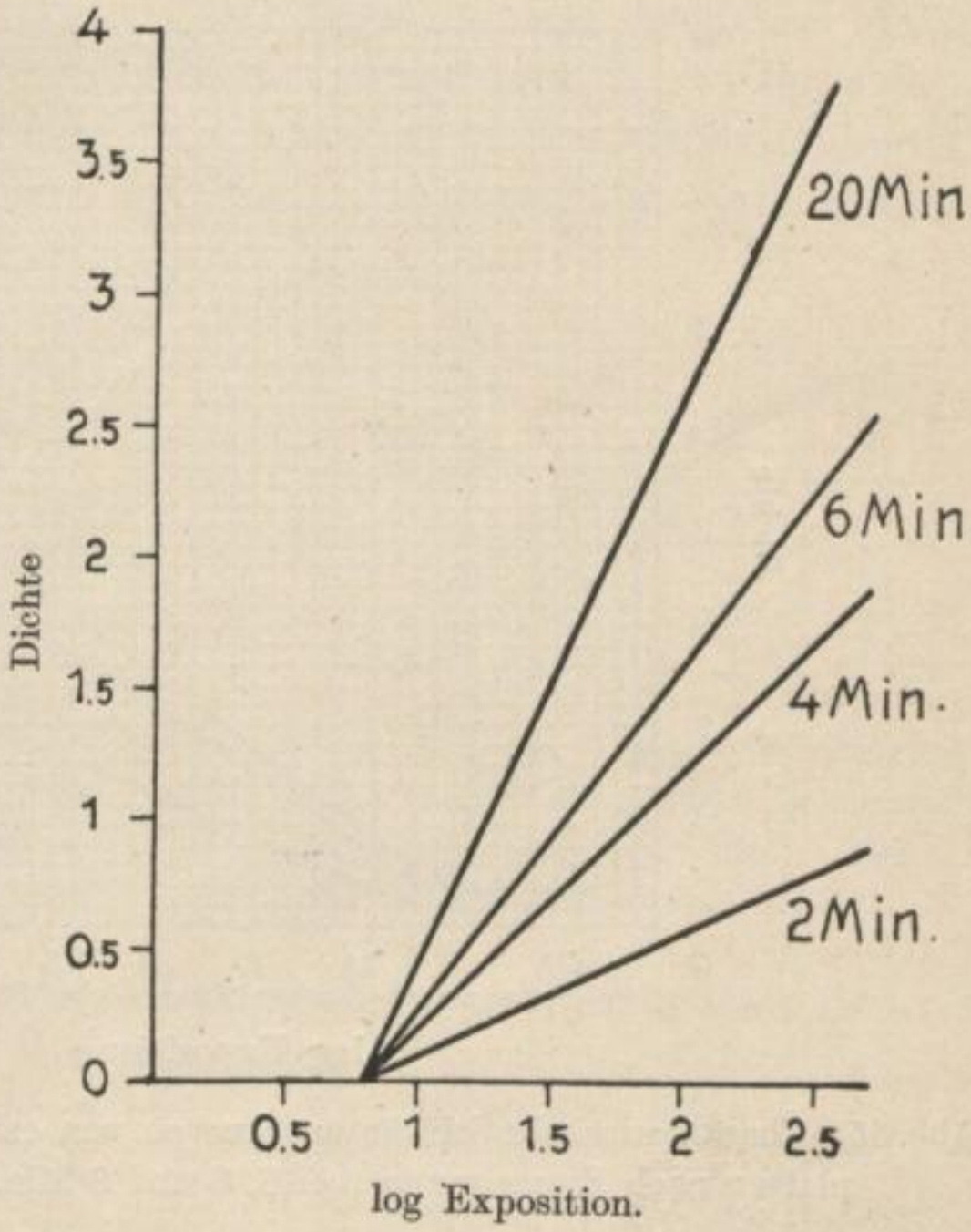


Abb. 14.
Ansteigen des Gamma mit der verlängerten Entwicklungsdauer.

Die Kurven stellen die normale Schwärzung bei gleicher Exposition und verschieden langer Entwicklungszeit vor, mit hypothetischen gemeinsamen Schnittpunkt (Inertia) mit der Logarithmus-Expos.-Achse.

Der Verlauf dieser Schwärzungskurven ist schon in gewissen Grenzen, z. B. bei einem Umfang der Exposition bis zum 250fachen Schwellenwert für jede Entwicklungszeit ein annähernd paralleler, oder besser gesagt, es soll nach dem Sensitometer-System von Hurter und Driffield so sein, denn dieses System verlangt, daß diese Kurven verschiedener Entwicklungsdauer einen und denselben Schnittpunkt (Inertia) mit der Log.-Expos.-Achse

haben. — Genauere Schwärzungs- und Photometer-Messungen aber zeigen, daß diese Annahme Hurter und Driffields nicht streng gültig ist, wie Eder bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts bewies; seine Meinung blieb anfänglich vereinzelt, wurde aber später durch zahlreiche andere Arbeiten vollkommen bestätigt.

Wir bringen im Nachfolgenden eine Anzahl von genauen Schwärzungskurven von modernen Plattensorten mit verschiedenen Entwicklungszeiten.

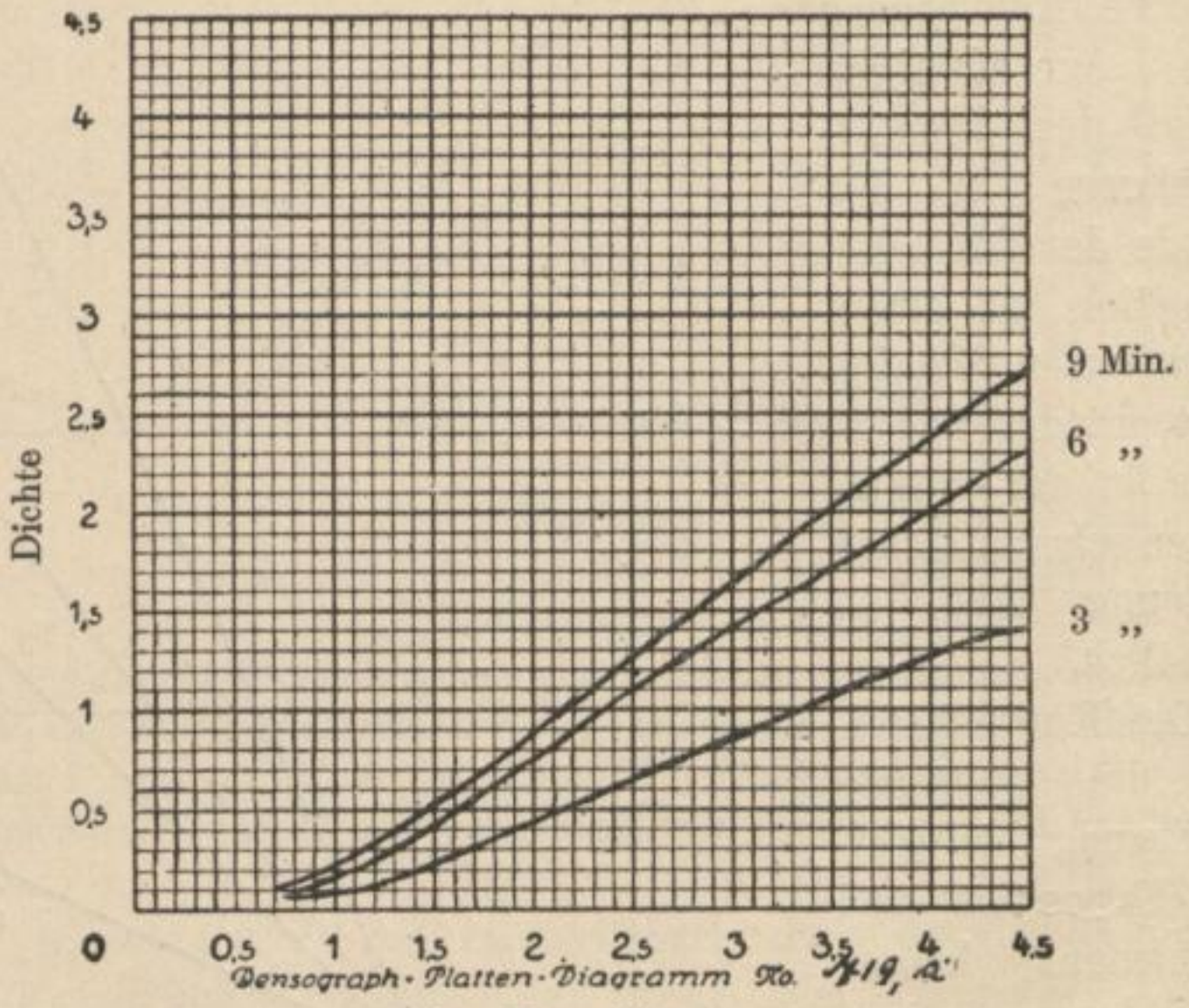


Abb. 15. Charakteristische Schwärzungskurven von extrarapiden modernen Porträtplatten nach Emmermann (bei 3, 6 und 9 Min. langer Entwicklung).

Abb. 15 zeigt die charakteristische Schwärzungskurve [1]) einer deutschen extrarapiden Porträtplatte, die mit Rodinal (1:20) bei einer Entwicklertemperatur von 18° C bei gleicher Exposition während 3, 6 und 9 Min. entwickelt worden war; die Empfindlichkeit war 92 Grade des Eder-Hecht-Sensitometers [1]); auch hier erkennt man die Konvergenz der Linien, mit genäherten aber keinen völlig gemeinsamen Schnittpunkten.

1) Nach C. Emmermann (Atelier des Phot. 1927, S. 8). Diese Kurven sind allgemein gültig für neuzeitliche Porträtplatten.

Abb. 16 bringt die Schwärzungskurve des „Agfa-Porträt-Film“ (1928), von 90° E.-H.; Entwickler Metol-Hydrochinon mit 2, 4, 6 und 8 Min. nach Phot. Indust. 1928, S. 652. Die beigegebene Tabelle des Gamma und des Schleiers gibt die Zahlenwerte:

Entwicklungsdauer	Gamma	Schleier
2 Minuten	0,48	0,05
4 „	0,65	0,1
6 „	0,75	0,15
8 „	0,87	0,26

Abb. 17 zeigt den Vergleich der Schwärzungskurven von ultrarapiden Porträtplatten (1927) nach den Messungen des wissenschaftlichen Versuchslaboratoriums der Hauffschen Trockenplattenfabrik in Feuerbach bei gleicher Belichtung und gleicher Entwicklung (4 Min.)

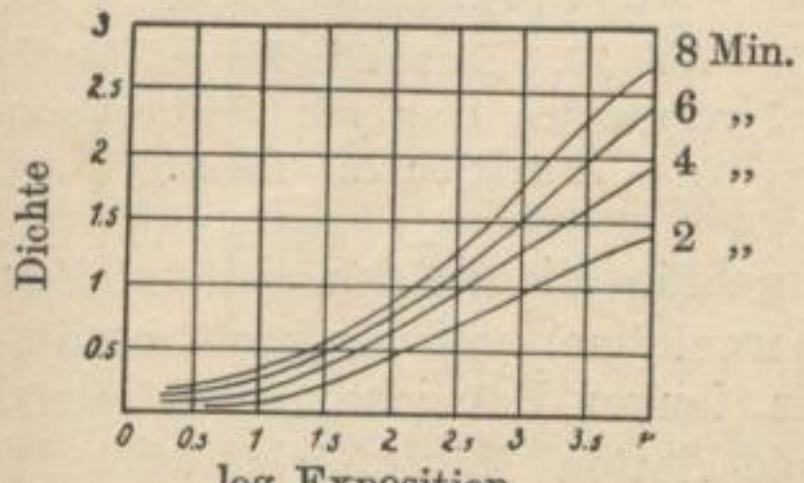


Abb. 16. Schwärzungskurven eines Porträtfilms bei progressiver Entwicklung.

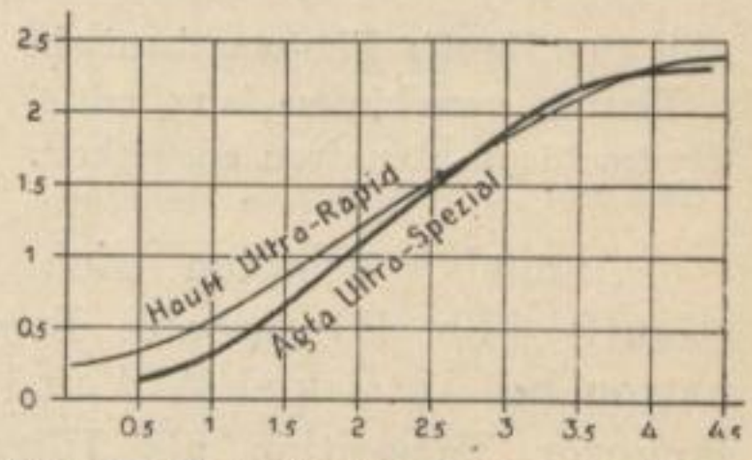


Abb. 17. Schwärzungskurven moderner Porträtplatten bei gleicher Belichtung und Entwicklung (4) Min.). Metol-Soda-Entwickler von 18° C.).

In Abb. 18 ist das Verhalten einer Extrarapidplatte (von Hauff) mit einer von 2, 4 und 6 Min. steigenden Exposition und einer Entwicklung mit Metol-Hydrochinon (2 bis 6 Min.) bei 18° C dargestellt. — Daneben sieht man in Abb. 17 die Schwärzungskurven der empfindlicheren und weicheren Hauff-Ultra-Rapid-Platte bei einer progressiven Exposition von 2, 4 und 7 Min. und mit konstanter Metol-Hydrochinon-Entwicklung (4 Min., bei 18° C).

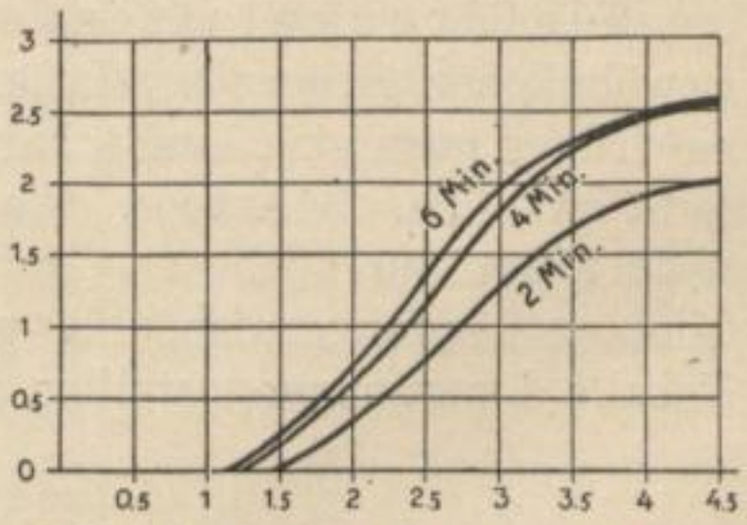


Abb. 18. Hauffs Extrarapid-Platte progressiv mit Metol-Hydrochinon 2, 4 und 6 Min. lang entwickelt.

Einen viel steileren Anstieg der Kurven zeigen die wenig empfindlichen (6 Grade Scheiner) Hauffschen photomechanischen Platten mit einem Hydrochinon-Ätznatron-Entwickler (Belichtungszeit

34mal länger, als mit Ultra-Rapid-Platten). Man sieht den außerordentlichen schnellen Übergang von Licht zur tiefen Schwärzung. (Abb. 19.)

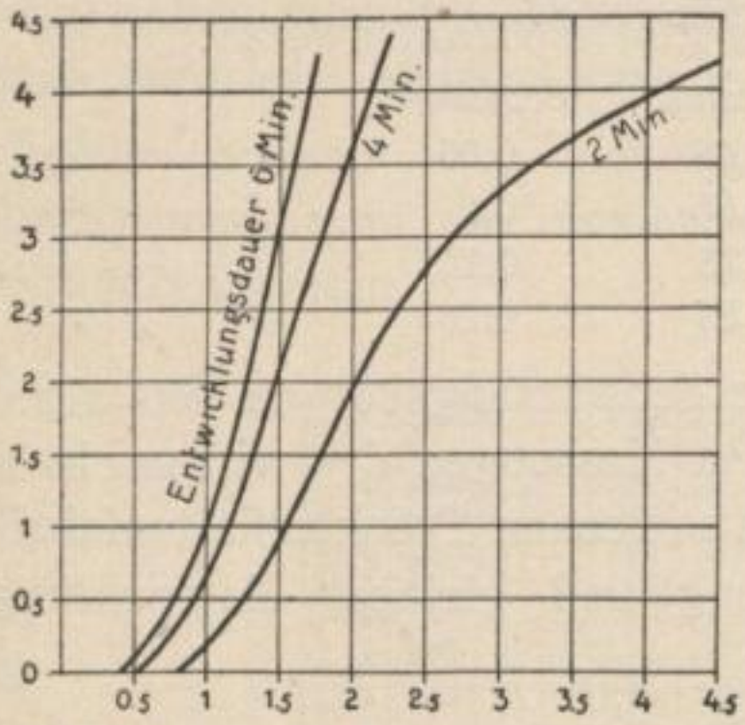


Abb. 19. Hauffs Photomechanische Platten verschieden lang mit Hydrochinon-Ätznatron entwickelt.

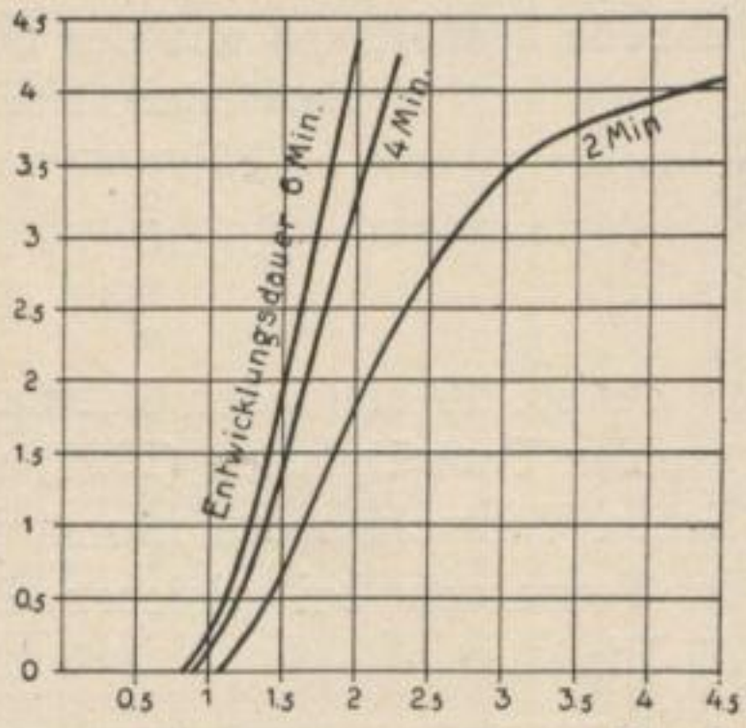


Abb. 20. Diapositiv-Platte Hauff verschieden lang mit Hydrochinon-Ätznatron entwickelt.

Ähnlich verhalten sich die gebräuchlichen Diapositivplatten (Hauff) Abb. 20 (unreife Bromsilbergelatine) mit Hydrochinon-Ätznatron bei 18° C und 2, 4 und 6 Min. langer Entwicklung mit 60mal längerer Exposition als Ultra-Rapid-Platten Hauff, wie Abb. 18 nach den im Hauffschen Versuchslaboratorium hergestellten Kurven ersichtlich machen.

Emmermann gibt zutreffende Kurvenbilder von verschiedenen Plattensorten (Phot. Chronik 1928, S. 30), die wir in Abb. 21 u. 22 wiedergeben.

Tiefdruckplatten entsprechen in ihrer Empfindlichkeit gewöhnlichen Bromsilberplatten niedriger Empfindlichkeit, wie man sie früher gern als „Landschaftsplatten" bezeichnete. Ihre Gradation geht aus Abb. 21 hervor. Die Keilkopien wurden bei 18° C in dem nachstehend angegebenen Glycin-Entwickler während 3, 6, 9 und 12 Minuten hervorgerufen, für welche Entwicklungszeiten sich die in Tabelle I zusammengestellten Gammawerte ergaben:

Tabelle I, zu Abb. 21.

Entwicklungszeit in Minuten	3	6	9	12
Gamma	0,47	0,75	0,90	1,1

Es sei hier jedoch betont, daß diese Werte nur für ein bestimmtes Fabrikat (und, ganz streng genommen, auch nur für eine bestimmte Emulsion) Gültigkeit haben. Die verschiedenen Erzeugnisse des Handels weichen in ihrer Gradation etwas voneinander ab.

Sehr kräftig arbeiten Diapositivplatten. Bei einem bestimmten Erzeugnis wurde die aus Abb. 22 ersichtliche Gradation

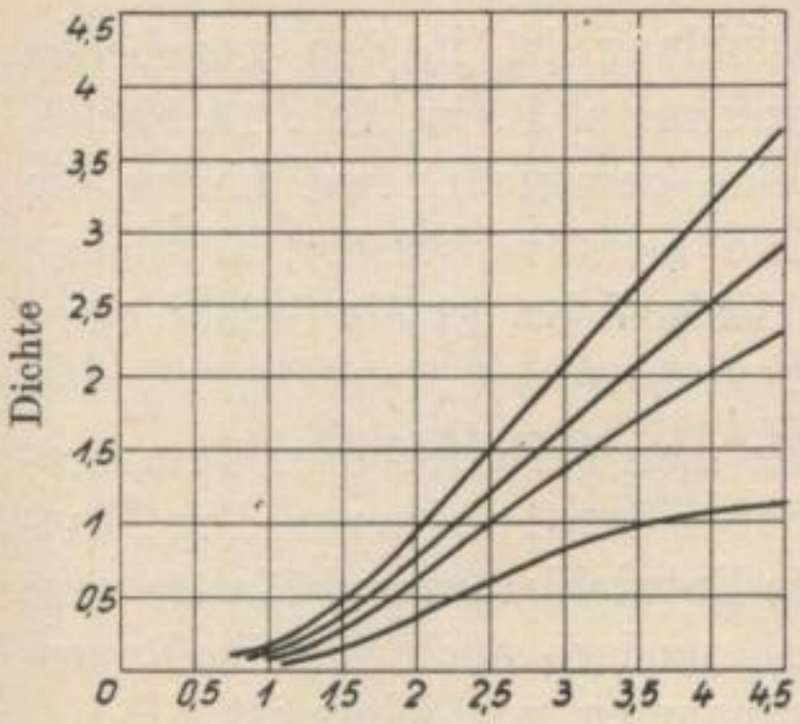


Abb. 21.
Tiefdruckplatte verschieden lang entwickelt.

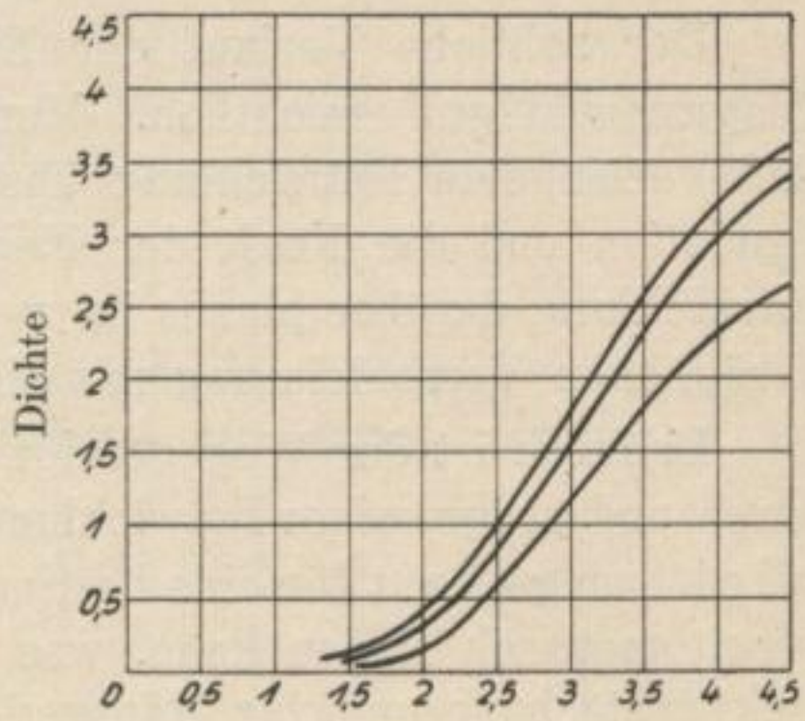


Abb. 22.
Diapositivplatte verschieden lang entwickelt.

gefunden. Die Entwicklung erfolgte mit Rodinal 1:20 während 3, 6 und 9 Minuten bei 18° C.

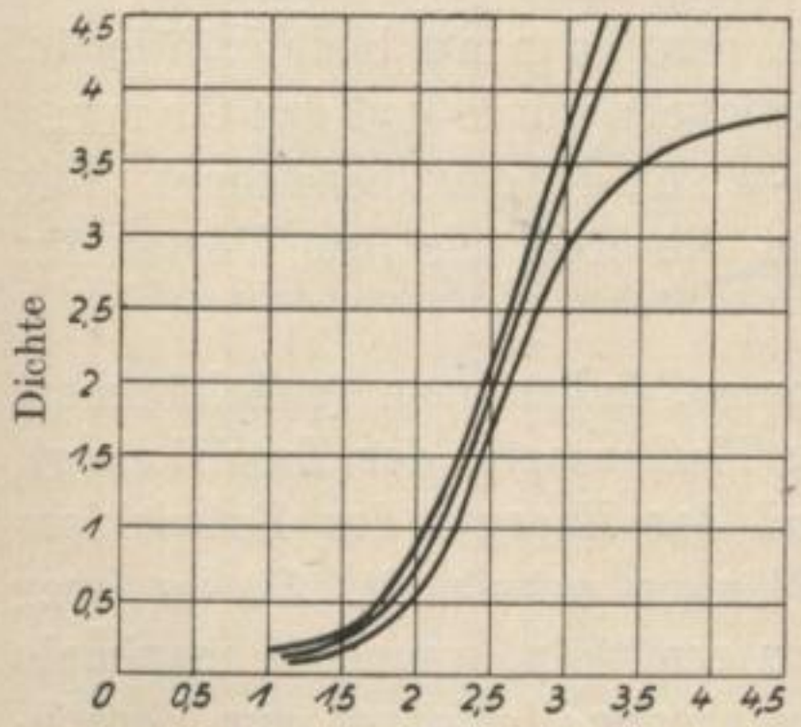


Abb. 23.
Photomechanische Platten mit verschieden langer Entwicklung.

Am härtesten arbeiten photomechanische Emulsionen, wie Abb. 23 beweist. Die Entwicklung erfolgte in Hydrochinon-Ätzkali-Entwickler während 2, 4 und 6 Minuten bei 18° C.

Welches dieser Materialien man verwendet, hängt von dem Charakter der Vorlage und dem zu erzielenden Endeffekt ab. Am besten dürften einige Beispiele zeigen, welches Aufnahmematerial in einzelnen Fällen angebracht erscheint.

Eine umfangreiche Darstellung von Schwärzungskurven vieler Handelssorten von Bromsilbergelatineplatten finden sich im III. Bande, Abschnitt „Herstellung von Bromsilbergelatine“ (Lüppo Cramer), dieses Handbuch. 1929.

Verlauf der Schwärzungskurve bei verschieden langer Entwicklung mit der günstigsten Entwicklungsdauer.

Der zeitliche Verlauf der Entwicklung ist in den gegebenen Diagrammen gut ersichtlich. Man erkennt z. B. in Abb. 14 bis 23, daß verlängerte Entwicklung über eine gewisse Grenze hinaus die Gradation und die Kraft der Negative nicht verbessert; allzulange Entwicklung darüber hinaus ist zwecklos und bringt die Gefahr einer schädlichen Verschleierung mit sich.

Dadurch ist der Weg gezeigt, wie man bei gegebenen Temperaturen und progressiver Entwicklungsdauer das Optimum der Entwicklungszeit für eine bestimmte Entwicklerart und Plattensorte sensitometrisch finden kann, was insbesondere auch für die Reproduktionstechnik und für Röntgen-Aufnahmen von Wert ist.

Auch beim Entwickeln von Bromsilber- oder Chlorsilberpapieren ist die optimale Entwicklungsdauer sensitometrisch leicht zu bestimmen.

Entwicklung von Bromsilbergelatine bis Gamma-unendlich.

Wenn man Bromsilbergelatineplatten oder dergleichen sehr lange entwickelt, so erreicht die Schwärzung einen Grenzwert, über welchen hinaus sie auch bei weiterer Entwicklung nicht mehr zunimmt. Die Gradation steigt dann nicht mehr an, das Gamma bleibt stationär, auch wenn man „unendlich lang“ entwickeln würde und das Gamma wird in diesem Falle als „Gamma-unendlich“ bezeichnet. Für manche Zwecke der Sensitometrie ist die Kenntnis des Wertes für Gamma-unendlich von Wert.

Man kann ihn empirisch bestimmen, indem man (unbekümmert um die Schleierbildung) je nach der Plattensorte, der Emulsionsart, der Dicke der sensiblen Schicht und der Energie des Entwicklers ungefähr 10 bis 20 Minuten oder länger entwickelt. Da es aber schwierig ist, den Zeitpunkt genau zu ermitteln, wann das maximale Gamma erreicht ist, so ist das nachstehende Verfahren zur Berechnung des Gamma-unendlich aus zwei niedrigeren Gammawerten von Interesse.

Berechnung der Werte für Gamma-unendlich.

Die maximal erreichbare Gradation, d. h. die Werte für Gamma-unendlich ($\gamma\infty$) kann nach der von Renwick (Phot. Journ. 1911,

Bd. 51, S. 213; ferner Jacobsohn, Phot. Indust. 1928, S. 932) angegebenen Formel berechnet werden:

$$\gamma_\infty = \frac{\gamma_1^2}{2\gamma_1 - \gamma_2}$$

in der γ_1 und γ_2 die Gammawerte für zwei Entwicklungszeiten sind, die sich wie 1:2 verhalten z. B. 2 Minuten und 4 Minuten.

III. Abweichung des Schwellenwertes von der Inertia. — Der „Fuß" der Schwärzungskurve im Gebiete der Unterexposition.

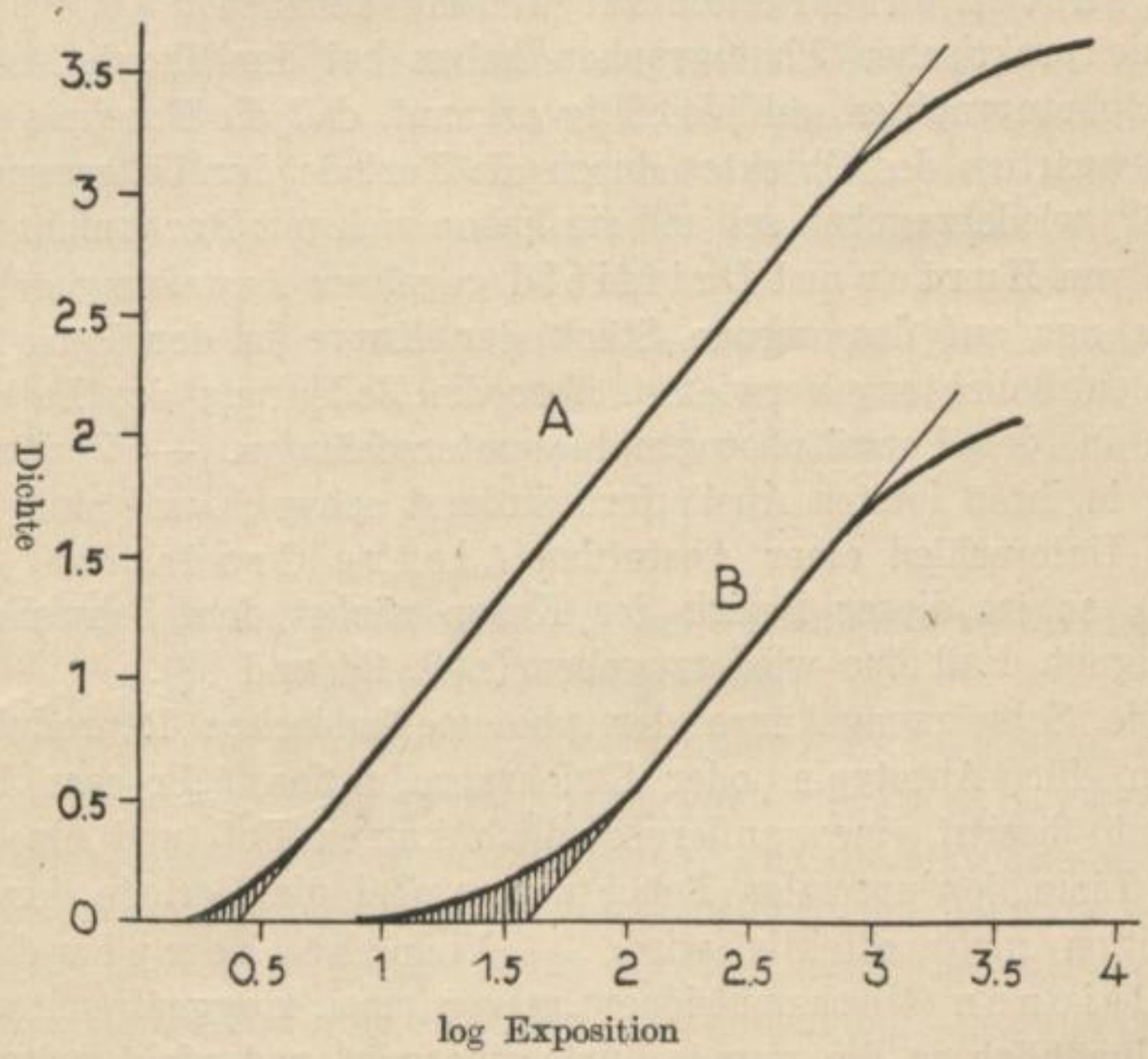


Abb. 24.

Verschiedener Übergang der Kurven in der Zone der Unterexposition am „Fuße" der Kurve gegen die verlängerte Gerade in der Zone der normalen Exposition. — Verschiedenes Verhalten bei verlängerter Exposition und früheres Abbiegen der Kurve *B* in der Zone der Überexposition.

Betrachtet man den Verlauf der Schwärzungskurve in der Periode der Unterexposition (s. S. 57), so bemerkt man, daß sie sich im Anstieg allmählich verlaufend ausbiegt und sich mehr oder weniger von dem Schnittpunkt des geraden Teiles mit der

Achse, d. i. von der „Inertia“ entfernt [1]). — Diese leicht nachweisbare Erscheinung bei verschiedenen Fabrikaten von Bromsilberplatten ist schematisch in Abb. 24 dargestellt, wo der kleinere oder größere „Fuß der Schwärzungskurve“ (englisch „Toe“) ersichtlich ist. — Gute Reproduktionsplatten gehören der Type A (mit kurzem Fuß) an, weil sie kräftige, klare und scharfe Reproduktionen von Linienzeichnungen geben. — Die Type B repräsentiert weichere, rapidere Platten. — Bei Porträtaufnahmen pflegt der Praktiker instinktiv eine Belichtungszeit zu wählen, in welcher der längere „Fuß“ und die weniger dichten Teile der Schwärzungskurve im Schatten und Mittelton zur Geltung kommen.

Die praktischen Photographen haben bei der Herstellung von Porträtphotographien gefühlsmäßig erkannt, daß die Tonskala in den Schattenpartien des Objektes durch die Periode der Unterexposition (s. S. 32) wiederzugeben sei und sie haben sich mit Recht nicht streng an die von Hurter und Driffield gegebene Anweisung gehalten, welche nur auf das gerade Stück der Kurve in der Periode der normalen Belichtung verwiesen, aber die Bedeutung des Fußes der Kurve in der Porträtphotographie unterschätzten. — Verläuft die Kurve in ihren letzten Ausläufern äußerst schwach und ohne merklichen Unterschied einer Abstufung („leere Gradation“ (siehe S. 34), so ist dieser Bezirk der Kurve nächst dem Schwellenwert ungeeignet, Halbtöne wiederzugeben (s. S. 34 und 59).

Die Schwärzungskurve der photomechanischen Reproduktionsplatten für Autotypie oder Strichreproduktion („Process Plate“, englisch) besitzt einen außerordentlich kurzen Fuß und eine lange steile Linie der normalen Belichtung, wobei die Periode der Überexposition nicht effektiv wird. — Viele hochempfindliche Emulsionen (Mischemulsionen) zeigen einen langgestreckten Fuß, der allmählich in die gerade Linie übergeht und nicht selten eine starke Abflachung der Kurve in der Zone der Überexposition aufweist.

Der verschieden lang oder kurz gestreckte „Fuß“ der Schwärzungskurve bei hart oder weich arbeitenden Platten bewirkt eine

---

1) Daraus erklärt sich die Unmöglichkeit, die Hurter-Driffieldsche Inertia für die verschiedenen Plattensorten des Handels in die Empfindlichkeitsgrade (Schwellenwerte) des Scheiner- oder Eder-Hecht-Sensitometer usw. eindeutig umzurechnen. Es ergeben sich Schwankungen von 150 bis 280 Inertiagraden für 15° Scheiner oder 80° Eder-Hecht und von 390 bis 730 Inertia für 19° Scheiner oder 88° Eder-Hecht. — Man kann annehmen, daß der Kodak-Kino-Standardnegativfilm mit 250° Hurter-Driffield = 82° (Eder-Hecht), der Kodak Super-Speed-Kinofilm mit 500° Hurter-Driffield (= 88—90° E.-H.) angegeben wird (E.).

variable Differenz des Schwellenwertes von dem Werte der „Inertia“ oder von dem steiler ansteigenden Gradienten der Normalexposition. Wären diese Verschiedenheiten nicht vorhanden, so wäre der Schwellenwert in eindeutiger Beziehung zur Empfindlichkeit auch im Verlauf der kräftigeren Schwärzungszone der Normalexposition zu bringen; diese Beziehung zur Empfindlichkeit ist auch bei Platten ähnlicher Typen tatsächlich vorhanden. Aber bei sehr verschieden „hart“ oder „weich“ arbeitenden Plattentypen muß man besondere Relationen zwischen der Empfindlichkeit gegen schwächstes Licht und anderseits gegen kräftige Mitteltöne in Erwägung ziehen.

Immerhin hat der Großbetrieb der Plattenfabrikation gewisse drei Hauptarten der Bromsilberemulsion ausgebildet, die man als Ultrarapidplatten[1]) mit langsamem Anstieg der Kurve und niedrigem Gamma herstellt und die relativ lange im ersten Kurventeil (*A B* in Abb. 7) bleiben, dann Platten für Landschaftsphotographie und viele „Amateurplatten“, welche einen kürzeren „Fuß“ der Kurve und steilere Gradation geben und Reproduktionsplatten für Autotypie, die fast unvermittelt in das Gebiet der steilen Normalgradation eintreten, bei denen also der Schwellenwert nicht so stark von der Inertia abweicht.

IV. Bedeutung der Hauptzonen der Schwärzungskurve für die angewandte Photographie.

Nach der in der praktischen Photographie gebräuchlichen Ausdrucksweise kommen bei einem photographischen Halbtonbild die Wiedergabe der Schatten der Mitteltöne und die Durchzeichnung der Lichter (Spitzlichter) in Betracht und speziell die Porträt-Photographen legen auf diese Umstände bei der Beurteilung ihrer Negative großen Wert. Untersuchen wir den Zusammenhang dieser Forderungen mit den Anzeigen der charakteristischen Schwärzungskurve.

Die obenerwähnte Dreiteilung der Schwärzungskurve entspricht in den Schatten der Periode der Unterexposition, die Mitteltöne liegen mehr oder weniger im Übergang dieser Periode zu jener der korrekten Exposition und greifen in das Gebiet derselben über,

1) Nahezu alle Rapid-Plattensorten des Handels, insbesondere Porträt- und Landschaftsplatten sind Emulsionsgemische von feineren und gröberen (weniger und höher empfindlichen) Bromsilberkörnern. Die Anzahl der entwickelten Körner steigt mit der Belichtung einer Emulsion für die größeren Körner steiler an als für die kleineren (Meidinger, Sheppard, Trivelli und Loveland, 1925, Journ. Franklin-Instit. Bd. 200, S. 51).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

während die Zeichnung in den Lichtern dem geraden Teile der Schwärzungskurve zukommt. Reicht die Lichtwirkung in der Periode der normalen Belichtung für den ganzen Umfang der wirkenden Lichtmenge aus, so erscheinen die dichtesten Stellen des Negatives (entsprechend den Lichtern im Porträt) noch gut definiert, einschließlich der höchsten Lichter (Spitzlichter). Biegt sich aber die Schwärzungskurve unter dem Einflusse der obwaltenden hellsten Lichter frühzeitig um (Abb. 7, Kurve *C D*), so erscheinen die hellen Partien im Porträt kreidig mit fehlenden Spitzlichtern.

Die verschiedenen Zonen der Schwärzungskurve haben verschiedene Bedeutung für die speziellen Zwecke der praktischen Photographie.

Der Berufs-Porträt-Photograph arbeitet, wie Thorne Baker sehr richtig ausführt (Phot. Journ. 1925, Bd. 65, S. 181), bei seinen Atelier-Aufnahmen meistens mit dem flachen Anfangsteil der Kurve, während der Landschafts- und Architektur-Photograph häufig nur die steilere gerade Kurve der sogenannten normalen Exposition benutzt. Solche Platten weisen z. B. für den Landschafts- und Architektur-Photographen nur eine Hurtersche (auf die „Inertia“ begründete) Empfindlichkeitszahl = 300 auf, während der Porträt-Photograph eine doppelte Empfindlichkeit wahrnimmt, denn er arbeitet mehr gegen den Schwellenwert der Platte. — Die sogenannte „gerade Linie der normalen Belichtung“ erweist sich bei genauen Messungen nicht als eine wahre gerade Linie, sondern zeigt verschiedene Krümmungen, so daß man oft mehrere Tangenten anlegen muß und demzufolge keinen einheitlichen Schnittpunkt mit der Abszisse, d.h. eine variable Inertia findet[1]). — Auch schneidet ein Zusatz von Bromiden zum Entwickler die verschiedenen Serien der Schwärzungskurven auseinander, gibt differente Gammas und eine andere Zuordnung des Negativs zum Kopiermaterial.

Betrachtet man die Schwärzungskurve einer photographischen Platte und zieht daraus die Folgerungen der zu ihren drei Hauptteilen (Unter-, Normal- und Überexposition) gehörigen Belichtungszeiten und setzt die Zeit zur Erreichung des Schwellenwertes = 1, so findet man z. B. bei einer Bromsilber-Gelatineplatte, daß sie bis zur dreifachen Exposition in der Periode der Unterexposition bleibt, dann in die Periode der normalen Exposition übergeht, darin bis beispielsweise zur 30—40fachen Belichtung bleibt und dann in die Periode der Überexposition eintritt; darin bleibt sie lange Zeit, z. B. bis zur 500fachen Exposition; hierauf tritt allmählich in sehr verschiedenartigem Ausmaße die neutrale Zone und die Periode der Solarisation ein (z. B. bei 2000facher Expositon über dem Schwellenwert).

---

1) Dies hatte wohl zuerst Eder in seinem „System der Sensitometrie“ (1899) nachgewiesen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Spielraum der Belichtung.

Die grundlegenden Arbeiten zur Ermittlung des Spielraumes der Exposition für die Herstellung richtiger Negative und Kopien rühren von Hurter und Driffield her (1894), worauf schon in Bd. II dieses „Handbuches“ 1897, S. 8 und noch früher in Eders „Jahrbuch f. Phot. 1894, S. 57 ausführlich hingewiesen worden war. Es erscheint von Interesse, auf diesen Ursprung zurückzugehen, an den manche spätere Untersuchungen anknüpfen.

Als Ausgangspunkt und als Grundlage zur Messung des Belichtungs-Spielraumes dient das annähernd geradlinige Stück der Schwärzungskurve, das allgemein als der Begriff der „normalen Exposition“ anerkannt ist. Das Helligkeits-Intervall, das den Anfang und das Ende dieses geradlinigen Stückes der normalen Belichtung begrenzt, gilt als normaler Spielraum bei der Belichtung („Latitude“ oder Belichtungs-Weite). Man drückt aber diese Belichtungsgrenze nach dem Vorgange von Hurter und Driffield in der Regel als Logarithmen der betreffenden Lichtmengen (Expositionen $= J \cdot t$) aus, im Sinne der Abb. 7 auf Seite 39. Ob man aber die Werte der Lichtmengen selbst oder deren logarithmische Werte setzt, kommt auf dasselbe hinaus. Wir wollen beides berücksichtigen.

C. E. K. Mees[1]) schätzt durchschnittlich die Fähigkeit einer Bromsilber-Gelatineplatte zur Wiedergabe von Licht- und Schattenkontrasten in der Zone der normalen Exposition auf einem Umfang von 1:12[1]) oder bei Einbeziehung eines Stückes der Periode der Unterexposition und eines Stückes der Überexposition auf 1:60.

In der angewandten Photographie kann man den Spielraum der Exposition in Negativaufnahmen mit einem Intervall von zirka 1:30 oder mehr (bei Porträtplatten) ansetzen, wenn man die Entwicklungsart und -zeitdauer richtig behandelt (Eder).

In einer hell beleuchteten Landschaft in tiefem Schatten schätzt Mees die Kontraste des reflektierten Lichtes auf 1:30; bei offenen Landschaften treten nur Helligkeitsunterschiede von 1:5 bis 1:6 bei der Erzeugung eines photographischen Negatives in ~~die~~ Erscheinung.

---

1) Mees, Calculation exposure (Abr. Sc. Publ. Eastman Kodak Nr. 4.).

2) Bei modernen Porträt-Emulsionen mit sehr flach ansteigender Schwärzungskurve ist der Umfang der Gradation (Spielraum der normalen Exposition) wesentlich größer, z. B. = 14 und mehr.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Der praktische Photograph exponiert im allgemeinen bei Halbtonbildern auf die Schattenpartien solange, bis dort eben ein sichtbarer Lichteindruck am Negativ entsteht, und die Lichter zeigen in den oben angegebenen Beispielen eine 5—30fache Lichtmenge.

Nun muß man bei der Berechnung der Exposition in der Kamera auch die Lichtstärke des Objektives berücksichtigen. Z. B. würde eine Linse mit der Blende *F/8* ungefähr ein Prozent der Helligkeit der Landschaft auf die Visierscheibe der Kamera bringen. Da sowohl die Helligkeit des von der Landschaft reflektierten Lichtes als die des Kamerabildes in Sekundenmeterkerzen ausgedrückt werden können, so kann man aus dem Schwellenwert einer photographischen Platte (gleichfalls in S. M. K. ausgedrückt) den Weg zur Berechnung der Belichtungszeit finden.

V. Die Schwärzungsvorgänge im Gebiete der Normal- und der Unterexposition.

Der Verlauf der Schwärzungskurve im Gebiete der normalen Exposition, der durch das gerade Stück der Schwärzungskurve charakterisiert wird (s. S. 39), ist ein anderer als im Gebiete der Unterexposition, die beim Schwellenwert beginnt. In der photographischen Sensitometrie und in ihrer Anwendung auf die Bestimmung der Belichtung im normalen Arbeitsgange der praktischen Photographie spielt das annähernd geradlinige Stück der charakteristischen Schwärzungskurve eine hervorragende Rolle. Dieses Stück ist so wichtig, daß Hurter und Driffield ihr ganzes System der Sensitometrie samt der „Inertia“ darauf gründeten. Dieses gerade Stück, das die normale Exposition charakterisiert, verdient auch bei der Bemessung des Spielraums der Belichtungszeit volle Beachtung.

L. A. Jones, Mees und seine Mitarbeiter bezeichnen den Bereich der proportionalen Wiedergabe entsprechend der Zone der normalen Exposition (abgeleitet aus dem geraden Stück der Hurter-Driffieldschen Schwärzungskurve als „Latitude“ einer Emulsionsschichte, während die Neigung des geraden Stückes der Schwärzungskurve (Gamma) als „Kontrast“ bezeichnet wird. Dies gilt für Negative, Diapositive und Papierbilder in sinngemäßer Anwendung (s. d.). Die gesamte Schwärzungskurve vom Schwellenwert bis zum Abbiegen der Kurve heißt die „totale Schwärzungskurve“.

Trotz alledem kommt auch der Bezirk der Unterexposition samt dem Schwellenwerte bei Moment- und Porträtaufnahmen usw. für die Gewinnung guter Negative sehr in Betracht. Da dies weniger allgemein bekannt ist, so sollen diese Verhältnisse hier ausführlicher beschrieben werden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Hurter und Driffield hatten auf Grund einiger weniger Messungen angegeben, daß die Schwärzung im Gebiete der Unterexposition der einfachen Reziprozitätsregel folgt, d. h., daß die Dichte der Bromsilberplatte direkt proportional der Exposition ist, oder die Dichte (D) = Konstante (u) + Exposition (E). Diese Formulierung gilt nur in ganz groben Umrissen. Dagegen zeigten F. F. Renwick (Eders Jahrbuch 1912, S. 106 und 1913, S. 119) und später auch Olaf Bloch in seinem Referate über die Deutung der Schwärzungskurve (Pariser photographischer Kongreß 1925, Rapport 1926, S. 148), daß die Hurter-Driffieldsche Formulierung nicht strenge richtig ist. Bloch legt mit Recht großen Wert auf die Berücksichtigung der Kurve in dem Gebiete der Unterexposition und kommt (in Übereinstimmung mit Renwick) zu folgender Näherungsformel der Schwärzung bei Unterexposition:

$$D = u \cdot E + C,$$

wobei D die Dichte des Negativs bei der Exposition E ist und u die Tangente des Winkels der Neigung der Schwärzungskurve an einer bestimmten Stelle mit der Expositionsachse ist. C (englisch = Abschnitt „*Cut*") ist die Distanz des Anfanges der Schwärzungskurve (Schwellenwert) bis zum Schnittpunkt der Kurve der Unterexposition mit der geradlinigen Dichteachse [1]).

Nach dieser Formel Blochs und Renwicks wäre der Verlauf der Schwärzungskurve in der Periode der Unterexposition für gleiche Gamma ein identischer und R. Luther fand, daß die Kurven tatsächlich geometrisch ähnlich sind.

Ferner sagt R. Luther [2]) mit Recht, daß bekanntlich die

---

1) Vgl. Olaf Bloch in seiner Einleitung zur Diskussion über Sensitometrie in der Faraday-Gesellschaft in London 1923 (Transact. of the Faraday Soc. über die physikalische Chemie der phot. Prozesse, Bd. 19, Nov. 1923). Dieser „*c u t*" hat eine gewisse Bedeutung für die Beurteilung der Weichheit oder Härte einer Platte oder eines Kopierpapiers und ist für Porträtplatten klein, für Reproduktionsplatten groß; wird übrigens wenig berücksichtigt.

O. E. Conklin (Journ. Optic. Soc· America, Bd. 17, 1927 S. 463) gebraucht statt des Wortes „Cut" für diesen Abschnitt die Bezeichnung „Straightness" (Enge oder Beschränktheit) und definiert dies als das Verhältnis zwischen dem Schwellenwert („threshold slope") und Gamma. (Däs entspricht dem „Fuß" unserer Darstellung). — Bei Kino-Diapositivfilmen fand Conklin, daß dieser Abschnitt („Straightness") im Mittel 1,1 des Logarithmus der zugehörigen Expositionen betrage.

2) Luther in „The physical Chemistry of the photographic Process. A general Discussion held by „The Faraday Society", Mai 1923. London. (Transactions of the Faraday Soc. Bd. 19, Nov. 1923).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Platten verschieden hart arbeiten können (je nach der Art der Emulsion) und daß man den Effekt der verschiedenen „Härte“ in obiger Formel in Rechnung setzen könne, wenn man sie schreibt:

$$D = u \cdot E^h,$$

worin h eine zweite Konstante ist, die um so größer wird, je „härter“ die Platte arbeitet; diese Konstante korrespondiert mit dem Schwarzschildschen Exponenten p in dessen Schwärzungsgesetz (s. S. 177) und hängt mit der charakteristischen Schwärzungskurve zusammen.

Im allgemeinen fand Luther bei seinen Untersuchungen über den Verlauf der Schwärzung in der Periode der Unterexposition, daß bei einer großen Zahl von Handelssorten von Bromsilbergelatineplatten die Neigung der charakteristischen Kurve bei der Unterexposition ungefähr die Hälfte des Gammawertes der Normalexposition ist (Transact. of the Faraday Soc. 1923, Bd. 19, S. 342). Er basiert seine Formulierung in der Periode der Unterexposition auf seine Messungen der Schwärzung, welche inklusive Schleier den Dichtewert von 0,4 nicht übersteigt (Phot. Journ. 1925, S. 185).

Um die Abweichungen von Schwellenwert und Inertia bei verschiedenen Emulsionssorten zu berücksichtigen und für die Empfindlichkeitsbestimmung moderner Rapidplatten in Rechnung zu setzen, wäre die Empfindlichkeit nach dem Vorschlage von T. Thorne Baker (Pariser Phot. Kongreß 1925) durch zwei verschiedene Zahlen auszudrücken, je nachdem der untere Kurventeil oder der geradlinige Kurventeil in dem Gebiete der stärkeren Exposition berücksichtigt wird.

VI. Die Schwärzungsvorgänge im Gebiete der normalen Exposition.

Hurter und Driffields System zur Bestimmung der Empfindlichkeit einer photographischen Platte, oder wie man in England sagt „Speed of a plate“, ist vom sogenannten geraden Stück der Schwärzungskurve einer Emulsion in der Zone der „Normalexposition“ abgeleitet. — Allerdings zeigt die Erfahrung, daß man auch die Zone der Unterexposition bei Empfindlichkeitsmessungen genau berücksichtigen müsse (s. S. 56), aber der „gerade Teil“ der Schwärzungskurve im Gebiete der „Normalexposition“, in welchem die Dichte eine Funktion vom Logarithmus Exposition ist, besitzt sehr große Bedeutung. — Es ist allerdings evident, daß eine Empfindlichkeitszahl, die ausschließlich von der geraden Gammalinie abgeleitet ist, bei Porträt- und Momentaufnahmen von geringem Werte

ist und es kann eine Platte mit der Empfindlichkeitszahl 90 nach Hurter und Driffield beim praktischen Arbeiten sich viel empfindlicher erweisen, so daß sie tatsächlich eine Empfindlichkeit von 350 Grad Hurter und Driffield aufweist, wenn man sie zu Porträtaufnahmen im Atelier benutzt[1]). — Dies beweist die Unzulänglichkeit der alleinigen Bestimmung der Plattenempfindlichkeit durch die „Inertia“ (s. S. 56).

Die Dichte idealer Porträt-Negative bewegt sich nach dem gegenwärtigen Stande der Photo-Technik ungefähr zwischen der Dichte 0,1 bis 1,0 oder 1,5 (vgl. S. 21).

Thorne Baker (Phot. Journ. 1925, S. 184) findet, daß die Empfindlichkeitsangaben, welche sich auf den gestreckten Fuß der Verstärkungskurve in der Zone der Unterexposition stützen und, vom Schwellenwert ausgehend, sich langsam bis zur Zone des geraden mittleren Teiles der Kurve erheben, die richtigen sind, falls es sich um Porträt-Aufnahmen mit höchstempfindlichen Platten (Atelieraufnahmen) handelt, während das Hurter und Driffield sche System, welches sich auf Verlängerung des mittleren geraden Teiles stützt (Inertia), in diesem Falle keine richtigen Empfindlichkeitsangaben liefert. — Allerdings macht man gegenwärtig Porträt-Negative nicht so kontrastreich wie in der alten Zeit der Kopierung auf Albuminpapier, sondern paßt sie sowohl im Porträtfach als in der Kinematographie dem Kopiermaterial (Gaslichtpapier, Diapositiv-Emulsion) an. — T. Thorne Baker zeichnet schematisch die Kurve der Unterexposition von ihrem Wendepunkt bis zum Schwellenwerte als gerade Linie und stellt dadurch übersichtlhich dar, wie in der Periode der Unterexposition das Gamma bei hochempfindlichen Platten viel kleiner ist, als das Gamma vom mittleren geraden Stück (s. S. 39).

Für Reproduktionsplatten ist die sogenannte Zone der „korrekten Exposition“ (geradliniger Kurventeil) maßgebend, aber für viele Porträtplatten tritt die Zone der Unterexposition mit entscheidender Wirkung bei der Wiedergabe der Schatten auf und sie erscheint ebenso wichtig wie der geradlinige Teil der Kurve. Man kann allerdings die Qualität der verschiedenen Emulsionen nicht in einfacher Weise ausdrücken. — Manche Platten geben bei einer gewissen Entwicklungszeit eine gute Gradation, welche sich bei länger fortdauernder Entwicklung verschlechtert, bei anderen ist das Umgekehrte der Fall. Sogenannte Ultra-Rapid-Platten entwickeln sich meist langsam, geben weiche Bilder und erreichen kein hohes Gamma. — Bei Bromsilber-Gelatineplatten von geringer Empfindlichkeit, für Arbeiten, in welchen die Durchbildung in dem Schatten weniger wichtig ist, wird eine steilere Gradation bevorzugt. — Die Kenntnis des Gamma bei extrem langer Entwicklung ($\gamma\,\infty$) ist für die Charakteristik der Emulsion von Bedeutung. — Aber man muß auch die Kurve der Unterexposition berücksichtigen.

---

1) Dies wies Olaf Bloch in seiner Einleitung zur Diskussion in der Faraday-Society in London Mai 1923 (Transact. Faraday Soc. Bd. XIX, Nov. 1923) nach.

2) Unsere Ausführungen und Anschauungen decken sich mit denen von O. Bloch (Phot. Journ. 1925, S. 186), denen wir in der Einleitung zu diesem Kapitel folgen (E.).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VII. Abweichender Verlauf der Schwärzungskurve und der Gradation bei Veränderung der Lichtintensität und bei extrem langer Entwicklung bis zur Maximalschwärzung.

Beziehungen zwischen Zeit und Lichtintensität der photographischen Exposition.

Gewöhnlich werden photographische Negative nicht bis zur völligen maximalen Durchentwicklung im Entwickler belassen, sondern sie werden nur bis zur Schwärzung 1 oder höchstens bis 2—3 entwickelt (s. S. 21).

Steigert man die Belichtung und die Entwicklung der Negative aber sehr hoch, so treten Abweichungen von den einfachen Regeln ein.

Wie sich aus der Darstellung (s. S. 38) und der Definition der Schwärzungskurve ergibt, ist die ideale korrekte Gradation erreicht, wenn die Schwärzungskurve im Gebiete der Normalbelichtung im Winkel von 45 Graden ansteigt, somit dessen Tangente oder das Gamma = 1 ist.

Da für gewöhnlich der Wirkungskreis bei Landschaftsphotographien die Extreme der Helligkeit im Verhältnisse von 1:30 stehen, so ergibt sich im Negativ bei normaler Gradation ein Unterschied der Dichte in Licht und Schatten von 0—1,5. — Bei Porträtaufnahmen nimmt man aus praktischen Gründen das Gamma kleiner, bei Strichreproduktionen viel größer. — Landschaften mit sehr trüber und nebeliger Beleuchtung, bei Photographien vom Flugzeug aus und in ähnlichen Fällen mit sehr geringen Helligkeitskontrasten (z. B. 1:4) kann man nur schwer zur normalen Gradation entwickeln.

Reproduktionsplatten entwickelt man mitunter bis Gamma unendlich und treibt die Kraft und die Kontraste der Negative durch Verstärkung in die Höhe.

Bei technischen Plattenprüfungen und für die in der photographischen Praxis gewöhnlich vorkommenden Verhältnisse nimmt man in der durch das Produkt $J \,.\, t$ ausgedrückten wirkenden Lichtmenge die beiden Faktoren als gleichwertig an.

Bei genauen photometrischen Untersuchungen zeigt es sich, daß die Gradation der photographischen Bromsilber-Gelatineplatten, die mit einer Intensitätsskala gemessen wurde, von der absoluten Intensität des wirkenden Lichtes abhängt, was also zu einer

Variation des Gamma in Abhängigkeit von der Intensität führt. Weniger tritt dies bei Expositionen mit Zeitskalen ein.

Will man zum Studium eines photographischen Prozesses die Gradation für alle Plattensorten (hochempfindliche und unreife Emulsion) eindeutig und einheitlich definieren, so müssen zur sensitometrischen Untersuchung Zeitskalen verwendet werden. — Dazu muß für eine beliebige, aber feste Intensität die Abhängigkeit der Schwärzungen von der Expositionszeit bestimmt werden. — Die Zeitskalen beliebiger Intensität laufen annähernd parallel und unterscheiden sich nur durch eine Konstante voneinander.

Die Umrechnung der Intensitätsskalen kann allerdings nach dem von E. Kron angegebenen Verfahren mit Hilfe seiner mittleren Kurven konstanter Schwärzung ohne weiteres erfolgen, wie er in den „Publikationen des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam, 1913, Nr. 67“ näher ausführt, jedoch ist diese Berechnung für die praktische Sensitometrie wohl zu umständlich.

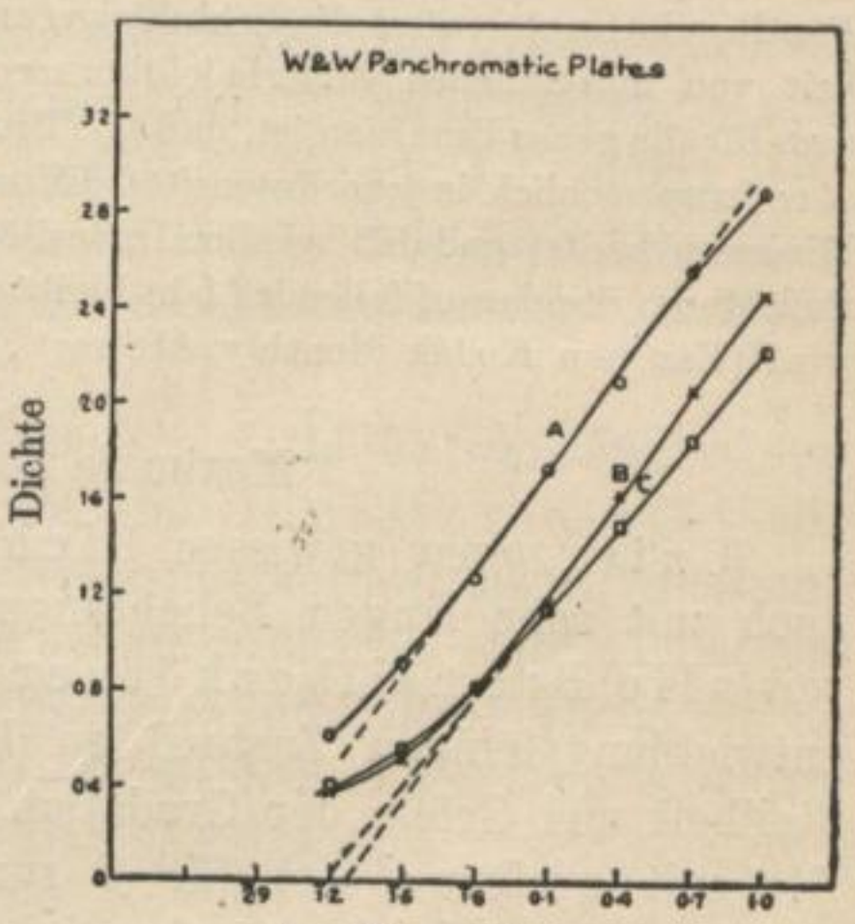


Abb. 25.
Schwärzungskurven für verschiedene Intensitäten. A. 1,25 Meterkerzen, B. 1280 Mk., C. 0,00031 Mk., 0,00031 Mk.

Die Abweichungen des Gamma mit steigender Lichtintensität zeigen die von L. A. Jones, E. Huse und V. C. Hall[1]) veröffentlichten Schwärzungskurven bei sehr großen Intervallen der wirkenden Lichtintensität von 0,0003 bis 1250 Meterkerzen. (Abb. 25.)

Diese Kurven zeigen, daß in diesem Falle die Schwankungen des Wertes für Gamma nicht groß, aber immerhin bemerkbar waren.

Sie wurden von L. A. Jones für panchromatische Platten ermittelt und machen ersichtlich, wie in den Schwärzungskurven *A*, *B* und *C* für Exposition mit 1,25 Meterkerzen, 1280 M. K. und 0,00031 M. K. bei stark verschiedener Lichtintensität die Gamma-

1) Jones, Huse und Hall (Journ. Optic. Soc. Amer. 1926, Bd. 12.)

Gradienten nicht parallel verlaufen, wie dies Hurter und Driffield hypothetisch verlangen, sondern daß das Gamma nicht bedeutend aber bemerkbar variabel erscheint.

Ähnliches kann man mit gewöhnlicher Bromsilbergelatine und anderen Arten von photographischen Platten beobachten.

Den Zusammenhang von Zeit und Intensität in der photographischen Exposition studierten L. A. Jones, V. C. Hall und R. M. Briggs im Detail (J. Opt. Soc. Amer. 1927, S. 223) in „Scient. Eastm. Kodak Public." Nr. 223. Es ist praktisch keine Differenz in der Kurve der konstanten Dichte für Entwickler sehr verschiedener Art, wenn die Entwicklung auf denselben Punkt getrieben wurde. Eine Änderung der Entwicklungszeit hat keinen Einfluß auf die Gestalt der Kurven der konstanten Dichte, aber ändert gewöhnlich die Position der optimalen Intensität. Das Resultat unterstützt die Schlußfolgerungen, daß die Variation der Empfindlichkeit von individuellen Silberhaloidkörnern einem Gesetz folgt, das sehr ähnlich dem für die ganze Emulsion ist, daß alle Bromsilberkörner derselben Funktion folgen, aber hauptsächlich in jener Intensität differieren, für welche die Empfindlichkeit ein Minimum besitzt und daß bei allen Intensitäten ein Korn entweder gänzlich unbeeinflußt durch das darauf fallende Licht bleibt oder komplett entwicklungsfähig gemacht wird (Eastman Kodak Monthly Abstract., April 1927, S. 199).

Maximale Schwärzung.

Unter einer gewissen Lichtintensität ist es unmöglich, auch mit sehr langen Belichtungszeiten und langer Entwicklungszeit alle Bromsilberkörner einer Bromsilbergelatineplatte in entwicklungsfähigen Zustand zu bringen und es bleibt dann die Steilheit und Größe der Gradation hinter der bei gleichem Produkt $J.t$ mit großem Wert für J zurück, im Sinne der Schwarzschildschen Gleichung, aber in anderer Form (Toy, Brit. Journ. Phot. 1926, S. 704).

Zusammenhang zwischen Lichtintensität und Schwärzung bei völliger Durchentwicklung einer Bromsilber-Emulsion.

Verlängert man die Entwicklungsdauer einer reichlich belichteten Bromsilbergelatineplatte sehr bedeutend, weit über das bei der Herstellung gewöhnlicher Negative gebräuchliche Maß, so macht sich ein bedeutender Einfluß der Intensität geltend. — Es zeigt sich, daß in solchen Fällen die Annahme Hurter und Driffields, daß die Reziprozitätsregel, welche sie bei der Bewertung der Lichtmenge Jt für die Konstruktion der Schwärzungskurven zu Grunde legten, nur in engen Grenzen gültig ist.

Bei sehr großen Intervallen der Lichtintensität und der Entwicklungszeit, macht sich aber die Tatsache geltend, daß es nicht gleich-

gültig für den Anstieg des Gamma ist, ob man die Lichtmenge (Jt) durch das Produkt von sehr kleinen Belichtungszeiten und sehr großer Lichtintensität ausdrückt; es machen sich eben jene Einflüsse geltend, welche in dem Schwarzschildschen Schwärzungsgesetz enthalten sind.

Diese Verhältnisse sollen im nachstehenden durch die graphischen Darstellungen ersichtlich gemacht werden, welche insbesondere die Forscher des Eastman-Kodakschen Versuchs-Laboratorium in Rochester mit Bezug auf den Verlauf des Gamma festgestellt haben.

Der Wert für Gamma unendlich ($\gamma\,\infty$), d. h. bei sehr langer Entwicklung (s. S. 33), hängt nach Jones und Hall in hohem Grade von dem Intensitätsfaktor der Exposition ab. So ist für mittelempfindliche Bromsilbergelatine („Commercial Film" der Eastman-Kodak Co.), welche Jones und Hall untersuchten (1926) der Wert für $\gamma\,\infty$ bei der geringsten Intensität von 0,0003 M. K. nur 1,1, steigt aber mit der Lichtintensität von 320 M. K. auf 2,7. — Bei Diapositivplatten wächst $\gamma\,\infty$ von 2,4 auf 4,2, wenn die Lichtintensität von 0,01 M. K. auf 640 M. K. erhöht wird.

Die charakteristische Kurve für komplette Entwicklung hängt unter diesen Verhältnissen also von der Lichtintensität ab.

Emulsionsplatten mit feinem Bromsilberkorn (Diapositivplatten) haben einen höheren Schwellenwert als die größeren, empfindlicheren Körner; Belichtung mit sehr niedriger Lichtintensität vermag solche feine Körner nicht entwicklungsfähig zu machen und diese erscheinen dann bei der Entwicklung „inert" oder indifferent.

Die absolute Energie in den Bromsilberkörnern (Energie pro Sekunde) hat eine große Bedeutung bei der Erzeugung eines entwickelbaren Eindruckes auf Bromsilbergelatine. Jones und Hall stellten fest, daß, wenn der Intensitätsfaktor unterhalb eines bestimmten Werts liegt, es unmöglich ist, bei irgend einer Belichtungs- oder Entwicklungszeit alle Körner einer Emulsion entwickelbar zu machen, d. h. die Energie, die dem Korn während der Belichtung zugeführt wird, muß einen bestimmten minimalen Wert überschreiten, um es entwickelbar zu machen, gleichgültig, wie lang die Belichtungszeit ist. Jones und Hall folgern weiter, daß das die Gegenwart von sog. indifferenten oder inerten Körnern in einer Emulsion erklärt, d. h. sie verhalten sich der besonderen bei der Belichtung zur Anwendung gelangten Energie gegenüber indifferent; wird jedoch der Intensitätsfaktor (bei gleichem Wert des Produktes $J.t$) erhöht, so wird die Zahl der indifferenten Körner geringer. Jones und Hall kommen zu dem Schluß, daß es für jede Klasse von Körnern einen „Intensitäts-Schwellenwert" gibt, unter dem keine Entwickelbarkeit erzeugt werden kann.

F. C. Toy kommt auf diese Schlußfolgerungen zurück, die er durch zahlreiche Versuche in Kodak-Laboratorium bestätigt fand. Es wurde wiederholt gefunden. daß bei einer bestimmten Intensität eine starke Verlängerung der Belichtungszeit praktisch keinen Unterschied in dem Prozentsatz der entwickelbaren Körner gal,

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

obgleich der Prozentsatz nicht mehr als 70 bis 80 betrug. Wurde jedoch der Intensitätsfaktor sehr stark erhöht, so konnten bei dem gleichen Wert von $J \cdot t$ leicht etwa 100 % der Bromsilberkörner im Entwickler verändert werden. (F. C. Toy, Brit. Journ. Phot. 1926, S. 704; Referat in Phot. Indust. 1927, S. 195).

Den Zusammenhang der Lichtintensität mit der völligen Durchentwicklung sämtlicher Bromsilberkörner einer Emulsion stellten insbesondere Jones und Hall fest.

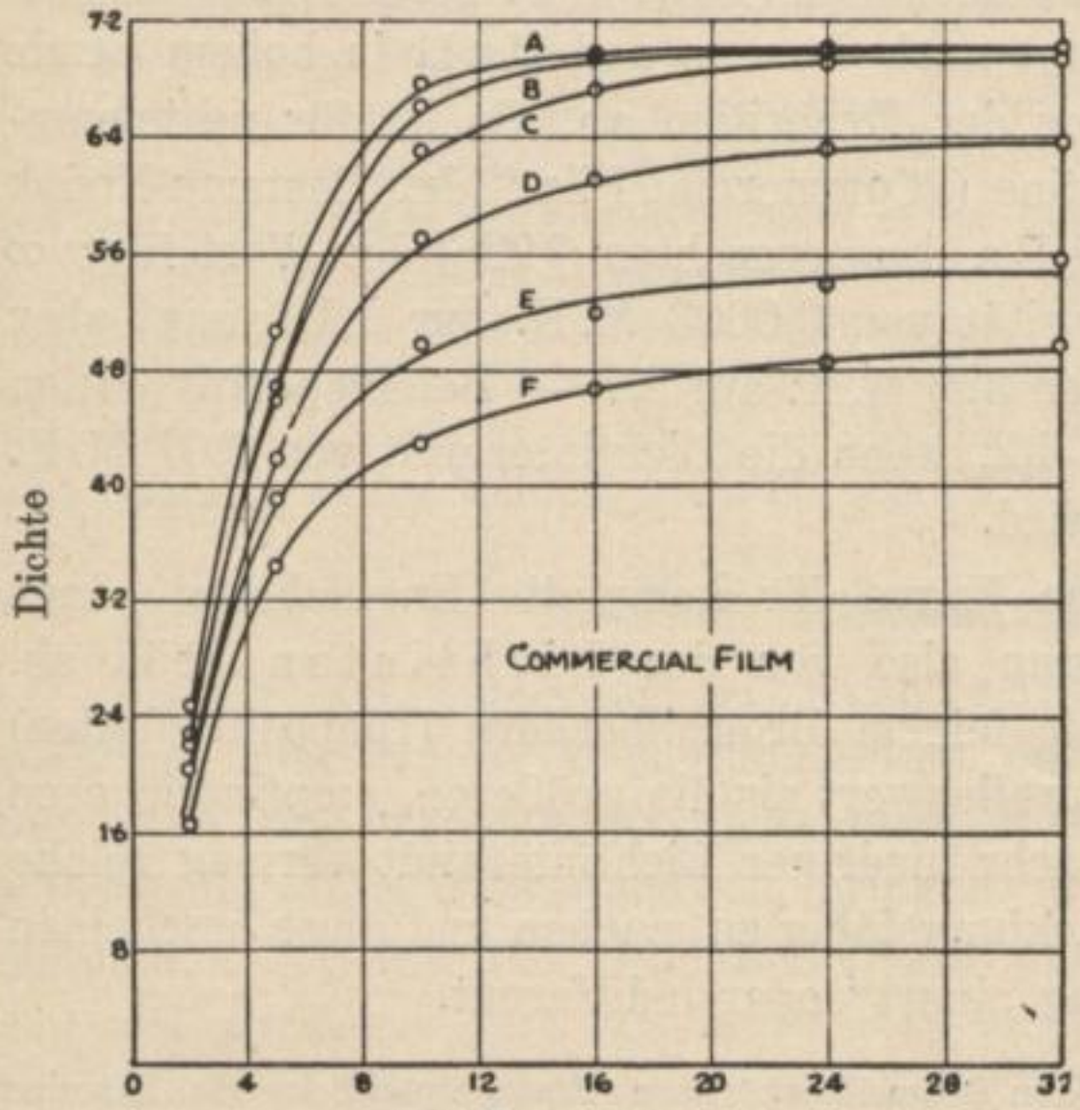


Abb. 26. Relation zwischen Dichte und Entwicklungsdauer für verschiedene Werte der Lichtintensität. — Für Kurve A war mit 320 M. K. belichtet, B mit 1,25, C mit 0,078, D mit 0,0048, 4 mit 0,0012 und F mit 0,00031.

Wenn man eine Bromsilbergelatineplatte sehr lange belichtet (mit einer Lichtquelle von 320 M. K.) und sehr lange entwickelt (bis 32 Minuten), so kann man nahezu 99% der vorhandenen Bromsilberkörner reduzieren, aber nur dann, wenn das wirkende Licht eine sehr große Intensität hatte. (L. A. Jones und V. C. Hall, Journ. Optic. Soc. Americ. 1926, Bd. 13, S. 460.) Andernfalls können sich etwa 30—40% der Bromsilberkörner der Reduktion entziehen, d. h. sie bleiben „inert“, und zwar in um so größerer Zahl, je mehr die Lichtintensität sinkt. Diese Grenzen der Intensität sind je nach dem Reifungsstadium des Bromsilbers sehr verschieden. Im günstigsten Falle kann die Dichte bei „Eastman commercial Film“ auf 7,0 ansteigen, bei Diapositivplatten auf die Dichte 6,1, bei rapidem „Eastman Speed Porträtfilm“ aber nur auf 2,9. (Hierbei ist auch die Dicke der Emulsionsschicht zu beachten; die hier angeführten Zahlen beziehen sich auf bestimmte Handelsprodukte. E.)

Wie man aus Abb. 26 ersieht, sind die Kurven des Log. der Exposition bei einer Entwicklung über 20 Minuten fast parallel der *log E* Achse.

Die charakteristischen Kurven bei verschiedenen Entwicklungszeiten und konstanter Exposition bis zur kompletten Schwärzung zeigen diese Verhältnisse nach den Darstellungen der genannten Forscher (vom Eastman-Kodak-Versuchlaboratorium in Rochester) kenntlich.

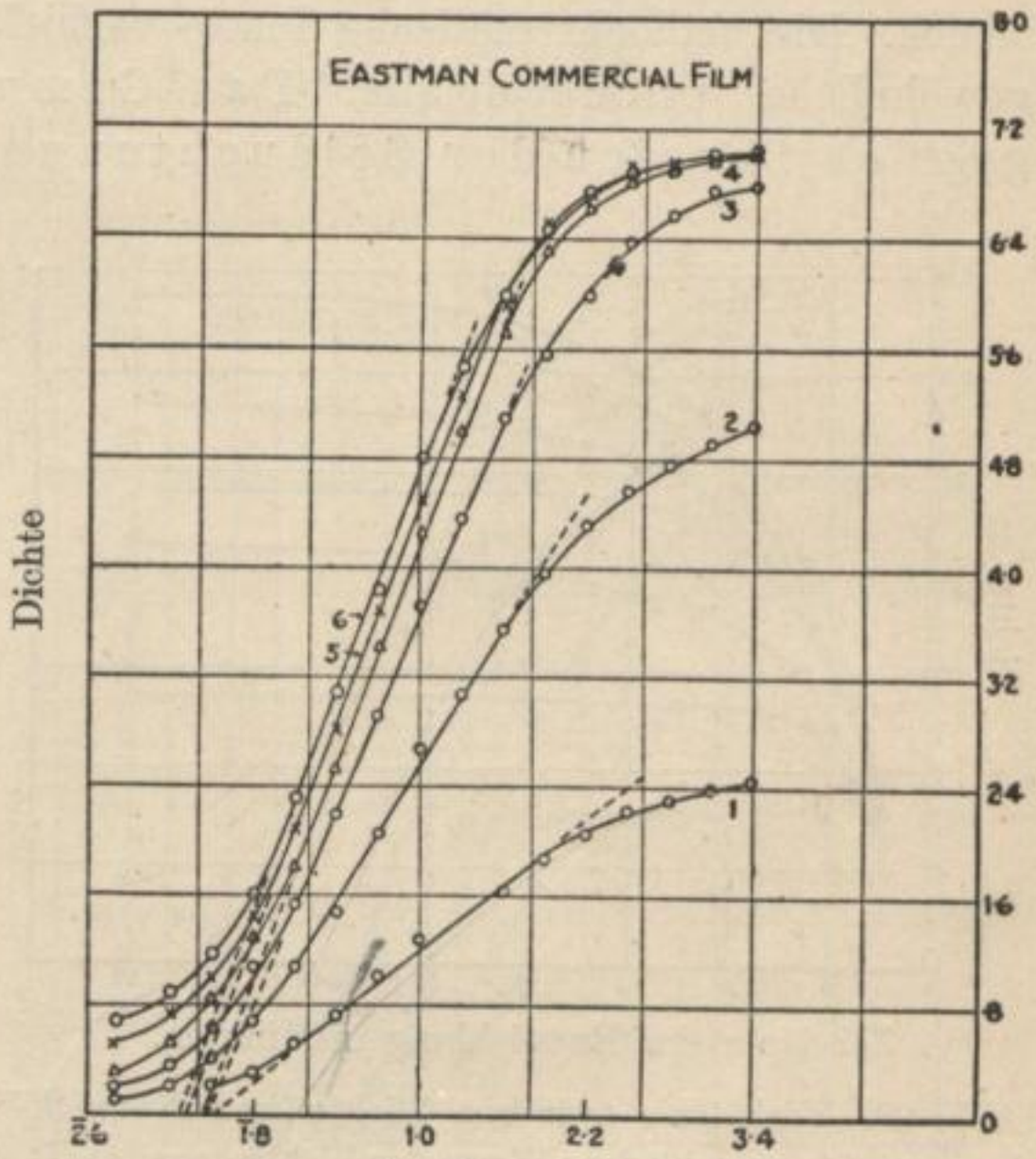


Abb. 27. Kurvenscharen der Dichte von Bromsilberplatten bei verlängerter Entwicklungsdauer, für die Intensität $J = 320$ S. M. K. — Die Kurven 1, 2, 3, 4, 5, 6 entsprechen Entwicklungszeiten von 2, 5, 10, 16, 24 und 32 Minuten.

Das Ansteigen der Schwärzungskurven und das Wachsen des Gamma bei stark verlängerter Entwicklungsdauer zeigen die Kurven in Abb. 27, die Loyd A. Jones und Vincent C. Hall mit Eastman gewöhnlichem Film (nicht farbenempfindlich) ermittelten und die typisch für den Verlauf solcherKurvenscharen sind (Journ. Opt. Soc. Amer. 1926, Bd. 13, S. 447).

Über die Beziehungen zwischen Zeit und Beleuchtungsstärke mit dem photographischen Effekt einer Belichtung liegen zahlreiche Untersuchungen vor. L. A. Jones, C. Huse und V. C. Hall stellten Versuche an, sie studierten eingehend diese Verhältnisse, welche auf das Reziprozitätsgesetz und das Gamma Bezug haben[1]).

1) Journ. Opt. Soc. Amer. Band 12, April 1926, S. 321. Phot. Industrie 1926, S. 736.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Bei panchromatischen Platten (Wratten und Wainwright, wahrscheinlich mit Isozyaninen sensibilisiert) steigt die Kurve, welche die Veränderung von Gamma als Funktion der Beleuchtungsstärke darstellt, in einem Intervalle der Belichtungsstärken von 1:8 000 000 nur sehr schwach an. Die Abweichungen von dem Reziprozitätsgesetz sind etwas größer als bei den nicht farbenempfindlichen Emulsionen. Die orthochromatische Platte verhielt sich ähnlich wie eine gewöhnliche Ultrarapidplatte. Das Gamma blieb in einem großen Bereich der Beleuchtungsstärken konstant.

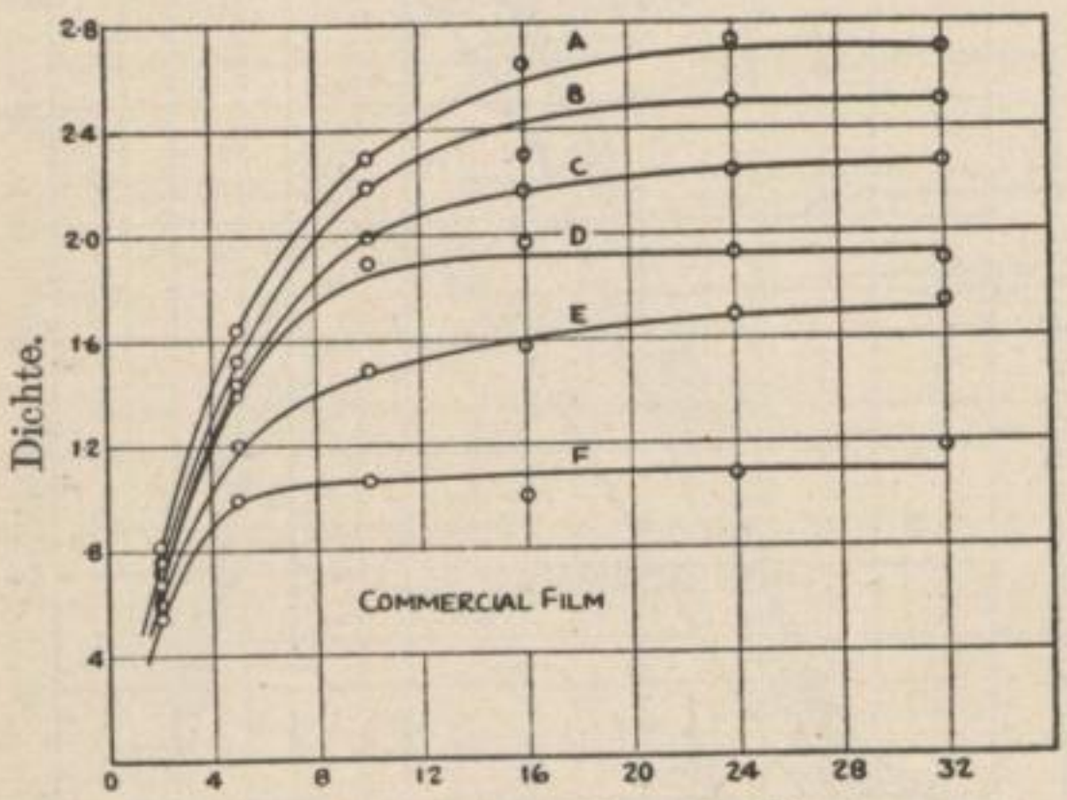


Abb. 28. Verhältnis zwischen Dichte und Entwicklungszeit für verschiedene Werte der Lichtintensität (I). Für die Kurve F war die Intensität (I) = 0,0049, für E war I = 0,019, für D 0,078, für C 1,25, für B 20 und für Kurve A war die Intensität = 320.

Bei den photomechanischen Platten (feinkörnig, wenig empfindlich) wurden erhebliche Abweichungen von dem Reziprozitätsgesetz gefunden. Der Wert von Gamma verringerte sich von 2,62 auf 0,50, wenn die Belichtungsstärke im Verhältnis von 1 000 000 zu 1 geändert wurde. Die charakteristischen Kurven für verschiedene Beleuchtungsstärken weisen bei solchen Platten erhebliche Unterschiede auf. — Auch bei Diapositivplatten zeigte sich dies. — Im allgemeinen kann man sagen, daß bei hochempfindlichen Emulsionen die Gammawerte von der Beleuchtungsstärke nahezu unabhängig sind, bei wenig empfindlichen Schichten jedoch durch die Belichtungsstärke in hohem Grade beeinflußt wird. — Die Emulsionen des Handels bestehen aus Körnern von sehr unterschiedlicher Empfindlichkeit und es ist anzunehmen, daß die Abweichungen vom Reziprozitätsgesetz nicht für alle Körner gleich groß sind. — Wahrscheinlich wird hierdurch das normale Verhalten mancher Emulsionsplatten verursacht, bei denen die geringen Beleuchtungsstärken nur die großen Körner beeinflussen, die eine hohe Empfindlichkeit

besitzen, aber in verschiedenen Mischungsverhältnissen bei kleineren, weniger empfindlicheren Bromsilberkörnern vorhanden sind!

Die Relation zwischen Gamma und der Entwicklungsdauer für verschiedene Werte der Lichtintensität zeigen die Kurven in Abb. 28 nach L. A. Jones und V. C. Hall (a. a. O.).

Abb. 29 zeigt die charakteristischen Kurven bei kompletter Entwicklung mit denselben Lichtmengen aber verschiedenem Intensitätsfaktor. ($J = 0{,}01$ M.K. für Kurve *G*, 0,16 M.K, 2,5 M.K, 640 M.K. für Kurve *A*.)

Sehr instruktiv sind die Kurven L. A. Jones und V. C. Halls betreffs der Relation zwischen Gamma und Entwicklungsdauer für verschiedene Werte der Lichtintensität. (Abbildung 30.)

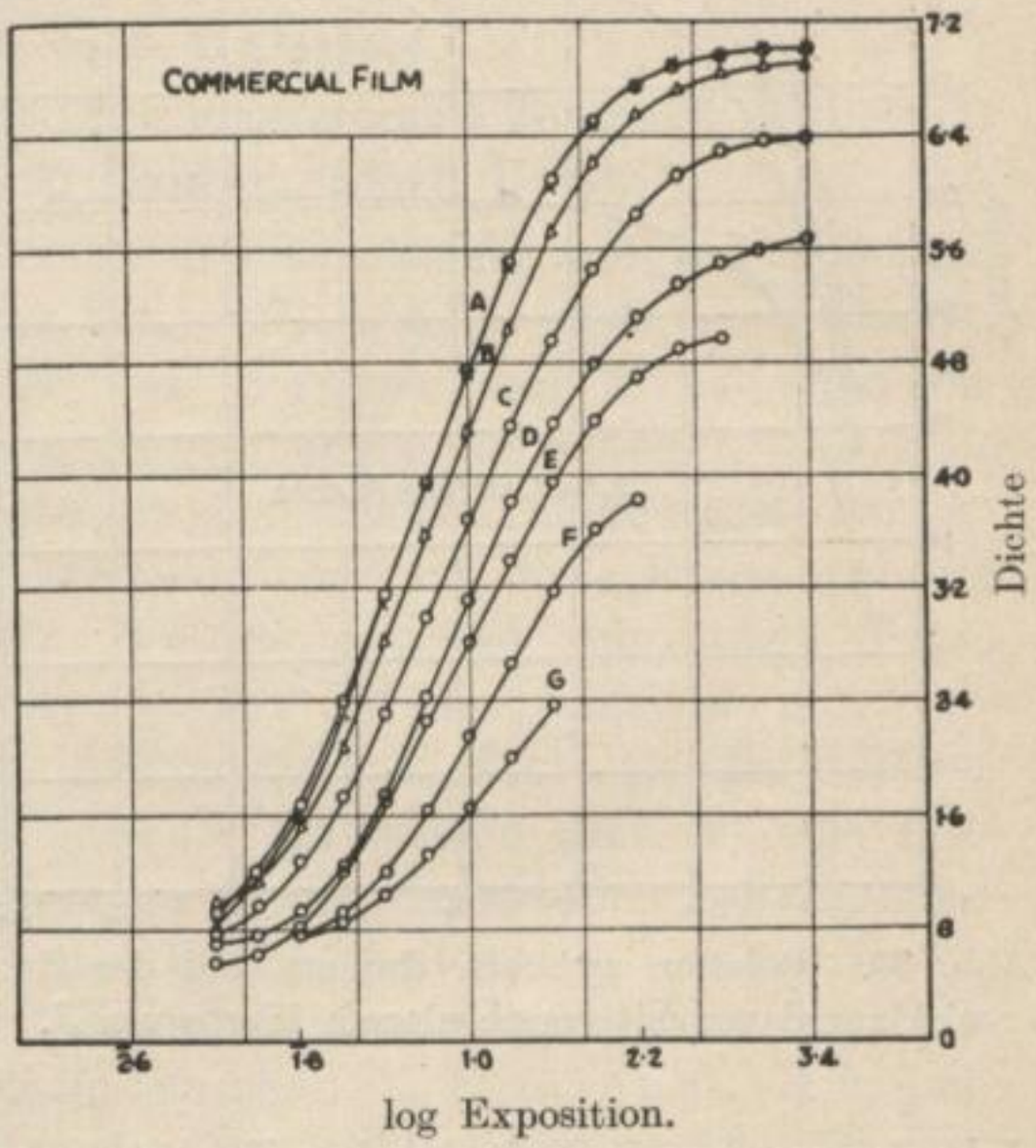


Abb. 29. Charakteristische Kurven bei kompletter Entwicklung mit gleichen Lichtmengen, aber verschiedenem Intensitätsfaktor.

Wie man sieht, werden die Kurven flach, wenn die Entwicklung über 20 Minuten verlängert wird. Jedenfalls ist Gamma einigermaßen abhängig von dem Intensitätsfaktor der Exposition.

Aus diesen Versuchen von Jones und Hall geht hervor, daß bei großen Intervallen der Lichtintensität jene Abweichungen hervortreten, die unter das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz fallen (s. S. 14), nach welchem in die Reziprozitätsgleichung sogenannte Zeit- oder Intensitäts-Exponenten eingefügt werden.

Im allgemeinen können die Schwärzungskurven bei variabler Belichtungszeit als vergleichbar und konstant gelten, ebenso das dazugehörige Gamma. Jedoch weicht die Form der Schwärzungskurven derselben Emulsion bei variabler Lichtintensi-

tät von der vorigen, je nach den Plattensorten mehr oder weniger ab. — Dies geht insbesondere aus den Untersuchungen von Kron, L. A. Jones und E. Huse hervor (Journ. Opt. Soc. Amer 1923, Bd. 7, S. 1079; Science Indust. Phot. 1924, S. 149), ferner S. O. Rawlins (Photogr. Kongreß in Paris 1925, Rapports 1926, S. 119 und Phot. Ind. 1925, S. 953) hervor.

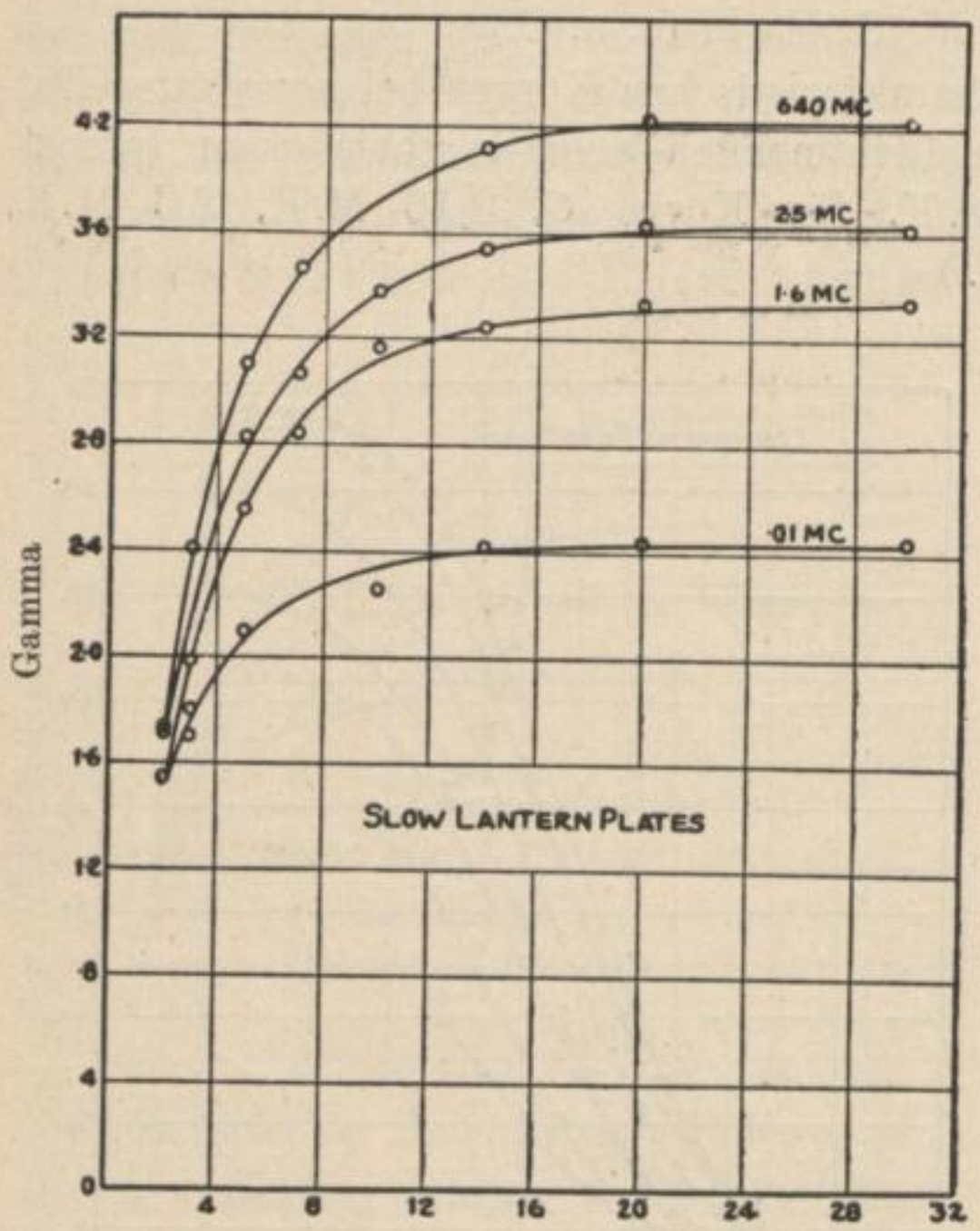


Abb. 30. Relation zwischen Gamma und der Entwicklungsdauer mit verschiedenem Werte von *J*.

VIII. Anomalien im Verlaufe der Schwärzungskurven bei verschiedenen Arten von Bromsilber-Gelatineplatten.

Die angewandte Sensitometrie nach dem System Hurter und Driffields ging seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts von der Annahme aus, daß die Schnittpunkte der geraden Stücke der Schwärzungskurven mit der log Expos. Achse an einer und derselben Stelle zusammenfallen, dort eine für die Plattenempfindlichkeit charakteristische Größe, die „Inertia“ (s. S. 39) ergeben, und darauf basiert das in England im Handel und Verkehr gebräuchliche System der Sensitometrie photographischer Platten. — Dieses System ist aber fehlerhaft und unzulänglich, weil, wie Eder[1]) 1899 und später andere Experimentatoren nachgewiesen haben, die Lage der „Inertia“ keineswegs konstant, sondern großen Schwankungen unter-

1) Eder, „System der Sensitometrie“ (Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 1899); Eder, „Handbuch der Photographie“ III, 1903, S. 242; Eder und Valenta, „Beiträge zur Photochemie und Spektral-Analyse“ 1905).

worfen ist. — Sehr eingehend und zutreffend beschreibt S. E. Sheppard auf Grund zahlreicher Versuche im Research Laboratory der Eastman-Kodak Co. in Rochester (Phot. Journ. 1926, S. 180; Phot. Indust. 1926, S. 132) die vielen Anomalien der charakteristischen Kurven verschiedener Arten von Bromsilber-Emulsionen bei der Entwicklung im Zusammenhange mit der Gradation und der sogenannten „Inertia".

Charakteristische Kurven und Anomalien bei der Entwicklung photographischer Emulsionen.

Von Dr. **S. E. Sheppard.**

(Auszugsweise übersetzt aus „The Photographic Journal", April 1926, Nr. 4, S. 190 in Phot. Indust. 1926).

Es ist seit langem bekannt, daß Emulsionen hergestellt werden können und auch tatsächlich hergestellt worden sind, deren charakteristische Kurven von der von Hurter und Driffield beschriebenen Form erhebliche Abweichungen aufweisen [1]). Die erste Veröffentlichung, in der hierauf des näheren hingewiesen worden ist, hat O. Bloch [2]) zum Verfasser, der auf diese Frage mehrere Male zurückgekommen ist [3]). Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet veröffentlichte Thorne Baker [4]), der auf die Anomalie unter besonderer Berücksichtigung sensitometrischer Probleme des näheren einging. Daß es derartige anomale Emulsionen gibt, ist eine feststehende Tatsache; Abweichungen in der Gestalt der Schwärzungskurve sind so häufig, daß die Unsicherheiten, die bei der Untersuchung photographischer Platten und der Angabe ihrer Empfindlichkeit bestehen, nicht erstaunlich sind. S. E. Sheppard hat die Beobachtung gemacht, daß in den letzten 20 Jahren die Tendenz zur Herstellung von anomalen Emulsionen in hohem Maße zugenommen hat und keineswegs in der Abnahme begriffen ist. Seine Arbeiten erstrecken sich auf die folgenden Punkte: a) Untersuchung der normalen Arten von Negativ- und Positivemulsionen für Diapositive,

---

1) Eder, „System der Sensitometrie" (Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 1899); Eder, „Handbuch der Photographie" III, 1903, S. 242; Eder und Valenta, „Beiträge zur Photochemie und Spektral-Analyse" 1905).

2) Olaf Bloch, „Plate speeds". „Phot. Journ." 57 (1917), 51.

3) Olaf Bloch, „Phot. Journ." 64 (1924), 183; ibid. 65 (1925), 186.

4) Thorne Baker, „Interpretation of the H. & D. curve". „Phot. Journ." 65 (1925), 191.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

b) Klassifikation der Emulsionen von normalem Charakter, c) Untersuchung der Vorteile und Nachteile der anomalen Emulsionen.

Bevor man die Emulsionen in befriedigender Weise in solche für die Reproduktionstechnik, die Porträtphotographie usw. einteilen kann, ist eine weitergehende, grundlegende Klassifikation erforderlich, bei der man von ihrem Verhalten bei verschieden langen Entwicklungszeiten ausgeht. Dieses Verhalten kann durch Veränderungen in der Zusammensetzung des Entwicklers beeinflußt werden, aber sofern man den Entwickler in seiner Zusammensetzung nicht sehr weitgehend verändert, wird der Charakter des entwickelten Bildes nur in geringem Grade modifiziert. Die folgende Klassifikation von Emulsionen ist nur als ein vorläufiger Versuch aufzufassen. Sie basiert indessen auf einer großen Anzahl von Versuchsergebnissen und kann daher als Ausgangspunkt für etwaige eingehendere Spezifizierungen dienen. Die Emulsionen sind zunächst in orthophotische und anorthophotische einzuteilen. Als orthophotisch bezeichnet der Verfasser Emulsionen, bei denen die geradlinigen Abschnitte einer Schar von Schwärzungskurven, die verschiedenen Entwicklungszeiten entsprechen, sich in einem bestimmten Punkt (Konvergenzpunkt) schneiden. Dieser liegt entweder (a) unterhalb, (b) auf oder (c) oberhalb der Achse der Expositionslogarithmen (vgl. die linke Reihe der Abb. 31).

Die Kurven (b), bei denen der Schnittpunkt auf der Achse liegt, stellen den einfachsten Fall dar. Es ist von Driffield[1]) und genauer von Nietz[2]) nachgewiesen worden, daß ein Zusatz von löslichen Bromiden zum Entwickler die Form (b) in die Form (a) übergehen läßt; es gibt indessen viele Emulsionen, die die Form (a) in einem Entwickler ohne Bromid geben. Man hat angenommen, daß dies durch überschüssiges und aus der Emulsion nicht ausgewaschenes Bromid bewirkt wird. Zugunsten dieser Annahme spricht die Tatsache, daß eine Emulsion, die bei der Entwicklung mit Hydrochinon die Kurvenform (a) zeigt, eine Kurve von der Form (b) gibt, wenn man die Wirksamkeit des Entwicklers vergrößert[3]).

Der Fall, daß der Schnittpunkt oberhalb der Logarithmus-E-Achse liegt, kommt verhältnismäßig selten vor, aber immerhin noch häufig genug, um die Einordnung dieser Emulsionen in die Klasse der normalen Emulsionen zu rechtfertigen. Überdies ist es ungewiß,

1) „The H. & D. System". „Photo-Miniature" 5 (1903), Nr. 56.
2) „Theory of development". (Monograph Nr. 3, Eastman Research Laboratory)
3) S. E. Sheppard und F. A. Elliot. Journ. Franklin, Inst., 195 (1923), 211.

ob das Bromid tatsächlich der einzige Faktor ist, der die Lage des Schnittpunktes bestimmt. O. Bloch[1]) und Clark[2]) haben festgestellt, daß es Emulsionen gibt, bei denen der Schnittpunkt des geradlinigen Kurventeiles oberhalb der Achse liegt und durch einen Zu-

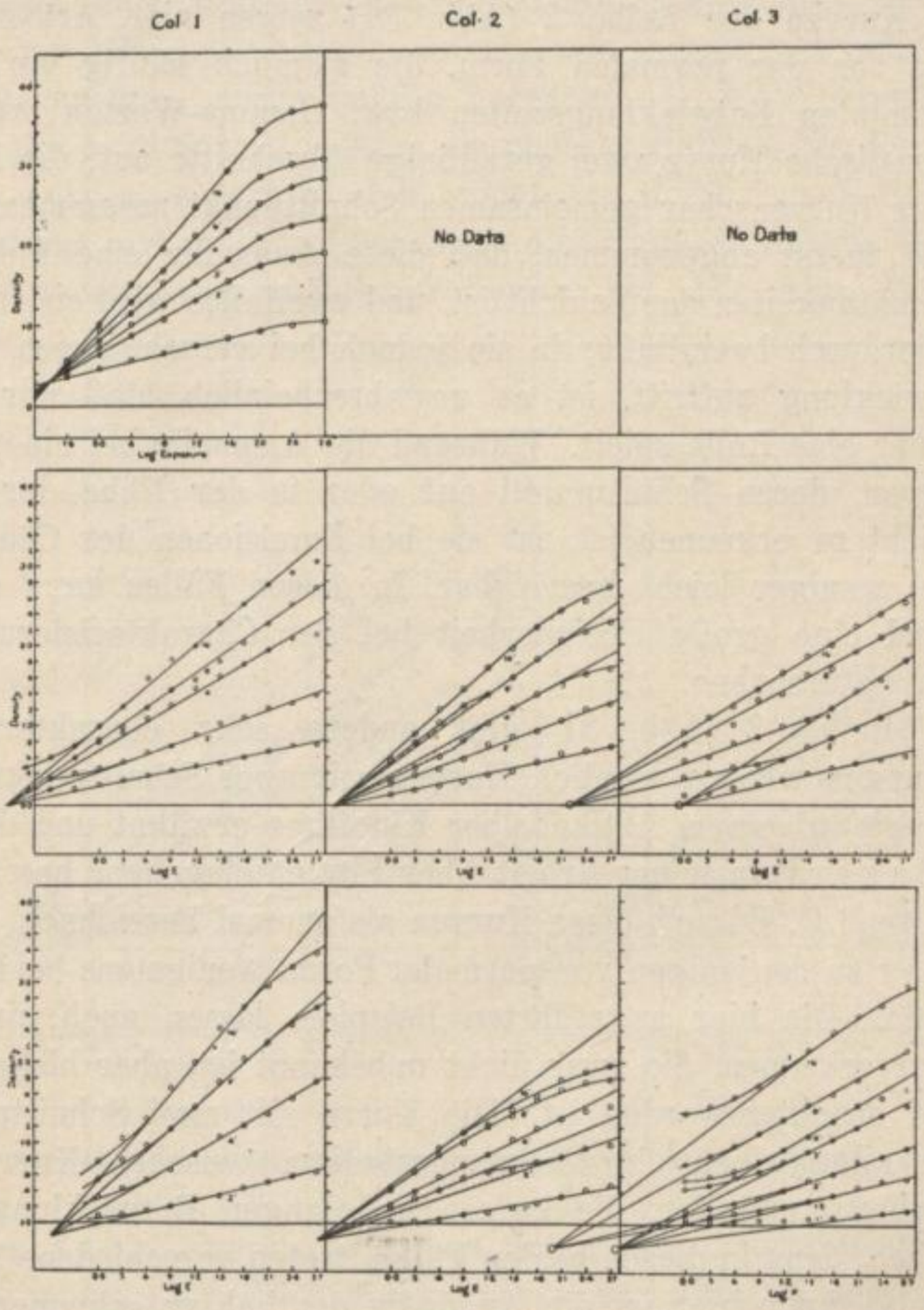


Abb. 31.
Schwärzungskurven von normalen und abnormalen Emulsionen nach Sheppard.

satz von Bromid nicht heruntergedrückt wird. Aus sensitometrischen Versuchen mit Röntgenstrahlen, die R. B. Wilsey im Kodak-Laboratorium angestellt hat, geht hervor, daß dieselbe Emulsion bei der

1) Trans. Faraday Soc. 19 (1923), 327.
2) „Standard development", loc. cit.

Entwicklung mit dem gleichen Entwickler einen Schnittpunkt unterhalb der Achse ergeben kann, wenn sie mit Röntgenstrahlen belichtet wird, während der Schnittpunkt oberhalb der Achse liegt, wenn sie bei Tageslicht exponiert wird.

Die Kurven der Reihe 2 (Abb. 31) zeigen eine Art der Abweichung von der normalen Form, die ziemlich häufig vorkommt. Bei bestimmten Entwicklungszeiten bzw. Gamma-Werten weist die charakteristische Kurve zwei geradlinige Abschnitte auf, die in demselben der Kurvenschar gemeinsamen Schnittpunkt zusammentreffen. Es wurde zuerst angenommen, daß diese Anomalie eine Folge von Ungleichmäßigkeiten der Schicht ist, und zweifellos wird sie in vielen Fällen hierdurch beeinflußt; da sie jedoch bei verschiedenen Stadien der Entwicklung auftritt, ist es unwahrscheinlich, daß nur dieser Faktor hier eine Rolle spielt. Während die Anomalie bei einer Schar von Kurven, deren Schnittpunkt auf oder in der Nähe der Achse liegt, leicht zu erkennen ist, ist sie bei Emulsionen des Charakters (a und c) weniger leicht bemerkbar. In diesen Fällen kann sie Irrtümer und eine große Unsicherheit bei der Charakterisierung der Emulsion verursachen.

Die Reihe 3 Abb. 31 gibt andere sehr charakteristische Abweichungen wieder, nämlich Kurven mit zwei Schnittpunkten, die O. Bloch[1]) in seinem Artikel über Kinofilme erwähnt und die auch Thorne Baker[2]) in seiner Arbeit über Platten eingehend beschrieben hat. Während O. Bloch diese Kurven als anomal bezeichnet, rechnet sie Baker zu denjenigen von normaler Form, wenigstens bei Porträtemulsionen. Die hier angeführten Beispiele lassen auch eine Tatsache klar erkennen, die zwar nicht unbekannt ist, aber bisher nicht genügend beachtet worden ist. Die Kurve mit zwei Schnittpunkten stellt im allgemeinen ein Übergangsstadium zwischen Kurven mit einem Schnittpunkt dar, die kurzen und langen Entwicklungszeiten entsprechen; denn in diesen beiden Fällen treten verschiedene Schnittpunkte auf. Auch hier ist die Anomalie deutlich zu erkennen, wenn der Schnittpunkt in der Nähe der Logarithmus-E-Achse liegt, kann aber zu schweren Irrtümern führen, wenn er sich in einiger Entfernung von der Achse befindet. In manchen Fällen sind sogar noch stärkere Abweichungen vorhanden; es können sich in den Übergangsstadien nicht nur zwei, sondern auch drei und mehr Schnittpunkte ergeben.

1) Loc. cit. S. 184.
2) Loc. cit. S. 182.

Es entsteht nun die Frage, ob Emulsionen, die den durch die Kurven 2 und 3 von Abb. 31 veranschaulichten Charakter besitzen, als orthophotisch bezeichnet werden können. Diese Bezeichnung ist hier deshalb nicht zutreffend, weil die Abweichungen keineswegs eine typische und konstante Eigenschaft bestimmter Arten des Handels sind, sondern, wie sensitometrische Untersuchungen zeigen, unregelmäßig auftreten. Baker bezeichnet die Kurven mit zwei Schnittpunkten als charakteristisch für die moderne Porträtemulsion, es ergibt sich jedoch im Hinblick auf die bei der Entwicklung vorhandenen Übergänge die Frage, inwieweit die Eigenschaft reproduzierbar und kontrollierbar ist. Die Abb. 32 und 33

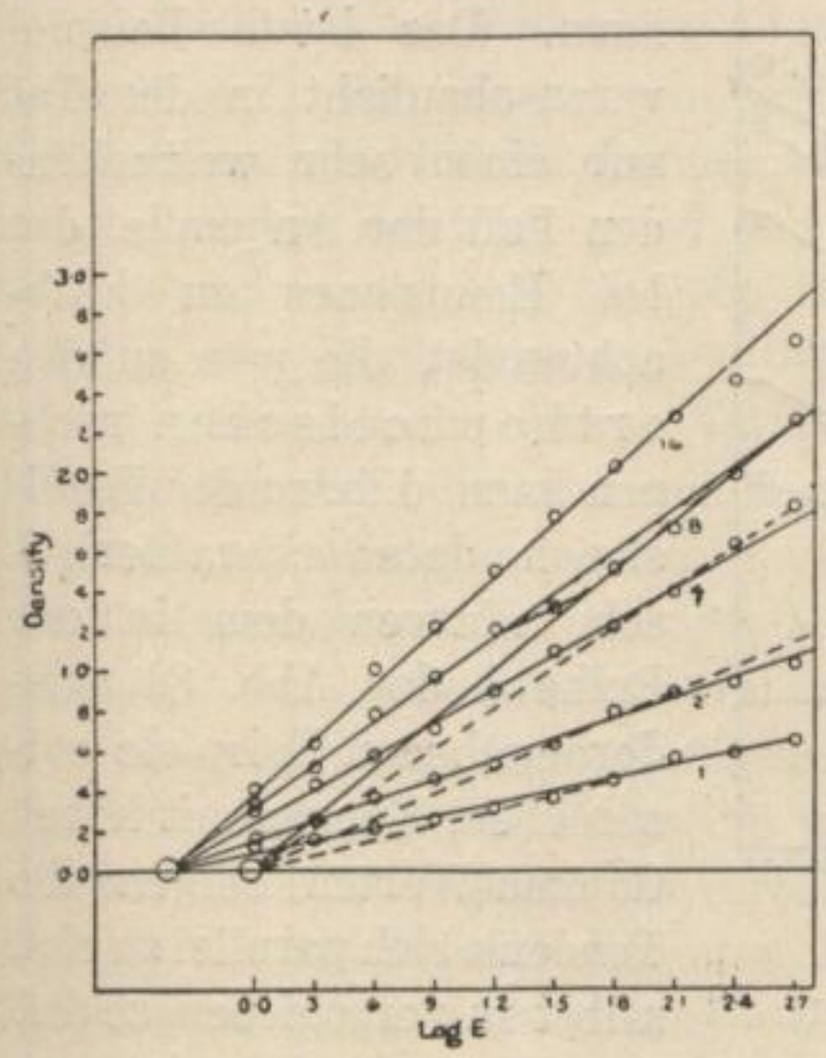


Abb. 32.

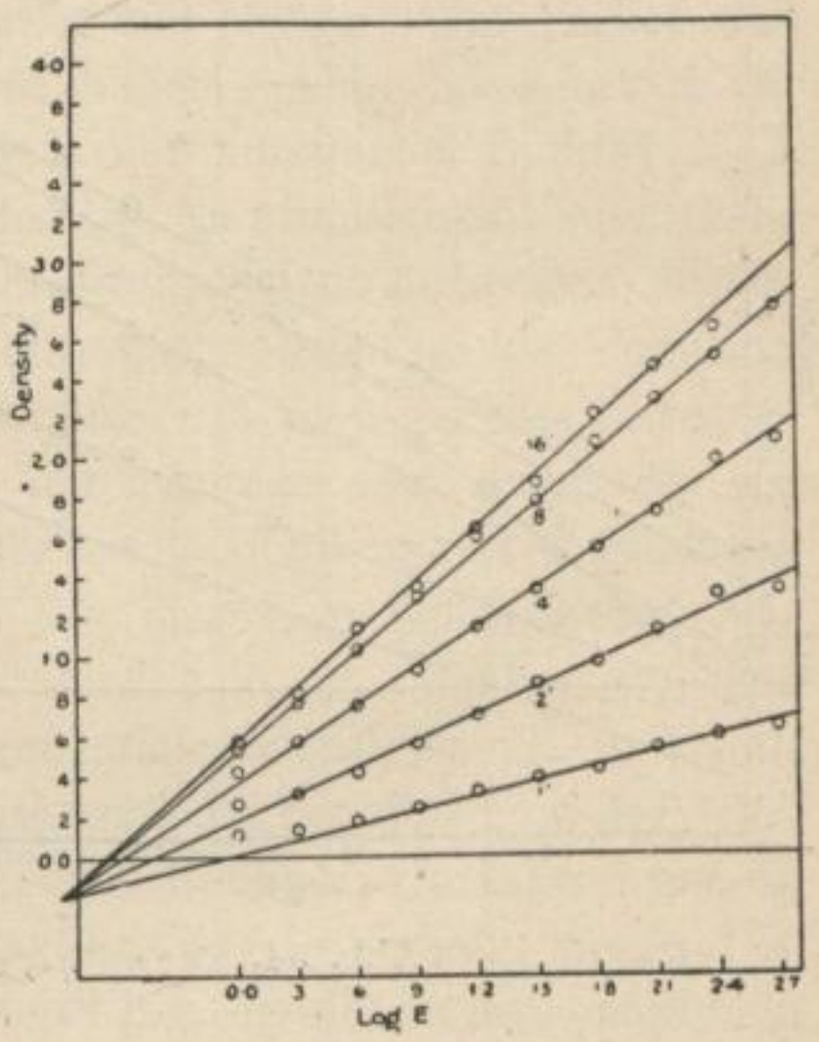


Abb. 33.

Normale und abnormale Schwärzungskurven nach Sheppard.

geben z. B. die Kurven derselben Sorte einer Porträtemulsion des Handels wieder; die Schwärzungskurven der Abb. 33 zeigen dieselbe Form, besitzen allerdings den geforderten langen „Fuß“, während die Kurven der anderen Figur Anomalien deutlich erkennen lassen.

Sheppard will nicht bestreiten, daß Emulsionen hergestellt werden können, deren Kurven den von den beschriebenen typischen Kurven 2 und 3 von Abb. 31 veranschaulichten Charakter besitzen, Formen erheblich abweichen. Abb. 34 zeigt z. B. den keineswegs vereinzelten Fall, daß die Kurven einer Porträtemulsion keinen Schnittpunkt besitzen und ihr Gamma-Wert sich oberhalb einer be-

stimmten Entwicklungszeit nicht ändert. Es handelt sich daher nicht um die Frage, ob derartige Emulsionen hergestellt werden können, sondern es gilt festzustellen, ob sie stets mit den gleichen Eigenschaften fabriziert werden können und welches ihr praktischer Wert ist. Diese Fragen stehen naturgemäß in engem Zusammenhang, denn selbst wenn die Emulsionen an sich von praktischem Interesse wären, kann ihr Wert ein nur sehr geringer sein, wenn man sie nicht gleichmäßig fabrizieren kann. Das letzte Beispiel veranschaulicht in der Tat nur einen sehr weitgehenden Fall der Anomalie, der bei Emulsionen zu beobachten ist, die man zu den orthophotischen rechnen kann, d. h. zu den Emulsionen, deren charakteristische Kurven dem in der Reihe 1 der Abb. 31 wiedergegebenen Beispiele entsprechen. Kurven mit hohen Gamma-Werten zeigen die Tendenz, sich parallel zu sich selbst zu verschieben, so daß dann der Faktor γ (Gamma) konstant bleibt. Diese Tendenz ist zum Teil eine Folge der Unsicherheit, die bei der Korrektion des Schleierwertes sehr lange entwickelter Platten besteht; sie wird durch die Benutzung der von Meidinger und Wilsey[1]) für die Schleierkorrektion aufgestellte Formel verringert, aber keineswegs gänzlich ausgeschaltet. Man darf also den Begriff „orthophotische Emulsionen“ nicht allzu eng fassen.

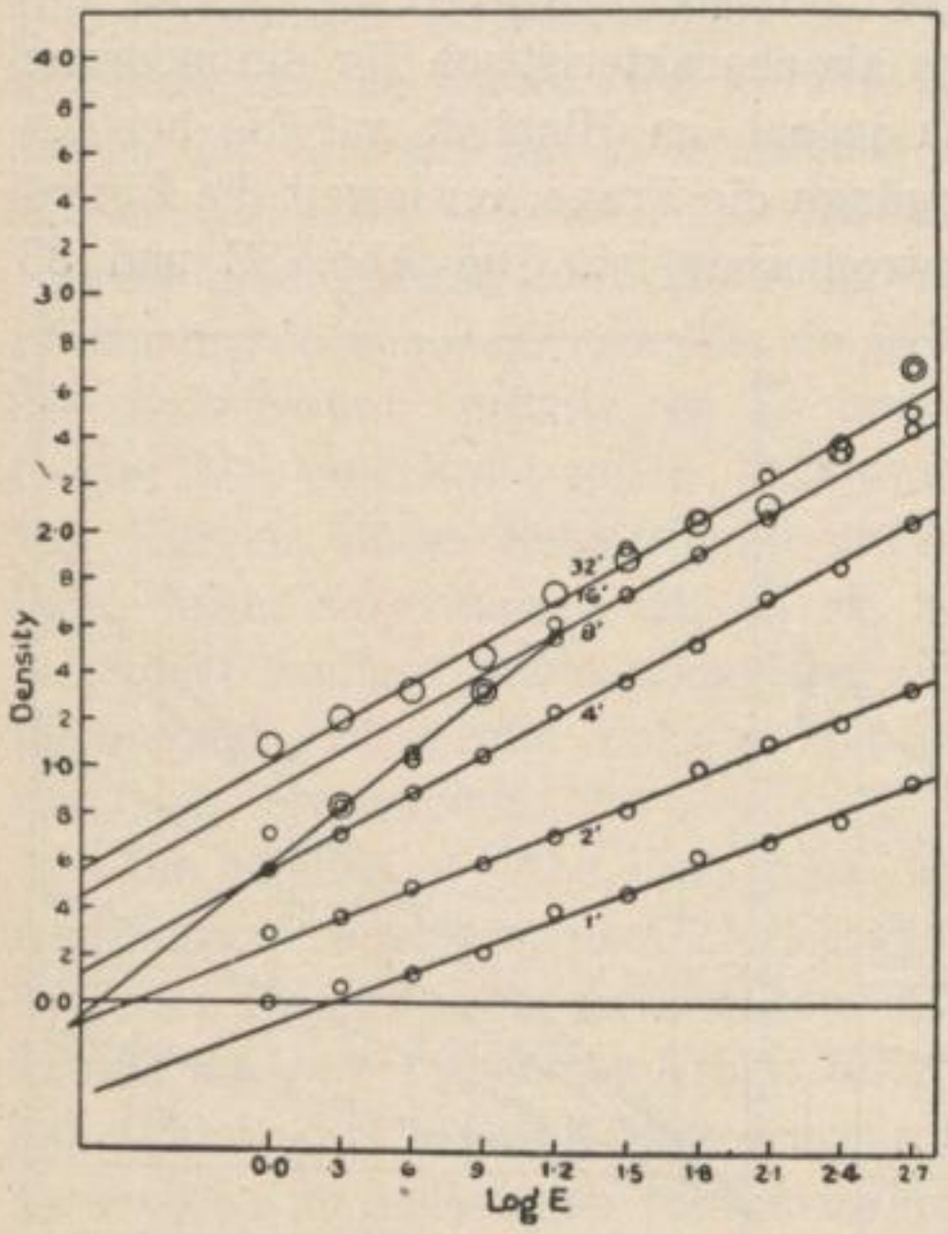


Abb. 34.

Selbst wenn man mit Emulsionen arbeitet, auf die die Bezeichnung orthophotisch zutrifft, d. h., die geradlinigen Abschnitte ihrer Kurven treffen sich in einem einzigen Punkt, können sie in ihren Eigenschaften noch weitgehende Unterschiede aufweisen.

1) R. B. Wilsey, „Phot. Journ.“ 49 (1925), 454.

O. Bloch führt in seinem mehrmals zitierten Artikel aus, daß die Kurven mancher Platten bei niedrigen γ-Werten einen längeren geradlinigen Abschnitt haben als bei höheren γ-Werten und betrachtet diese Erscheinung (abgesehen von der Frage der Konstanz der Inertia) als eine Anomalie. Wenn man als Maß für den geradlinigen Abschnitt seine Projektion auf die Logarithmus-E-Achse nimmt, wie es Hurter und Driffield angegeben haben, d. h. also, den Belichtungsspielraum, so ist dieser Spielraum bekanntlich eine Funktion des Entwicklungsgrades und wird in dem Maße geringer, wie der γ-Wert zunimmt. Am einfachsten kann man nach Sheppard dies veranschaulichen, wenn man die erste Ableitung konstruiert, wie es Nutting, Jones und Mees[1]) für Papier und Renwick[2]) für Platten angegeben haben. Abb. 35 zeigt z. B. orthophotische Emulsionen, die in der maximalen Dichte (D_{max}), im maximalen Kontrast ($\gamma\ \infty$) und in der Empfindlichkeit (die Ordinaten a und b nach Nietz) erhebliche Unterschiede aufweisen, ferner auch in der Veränderung des Belichtungsspielraumes als Funktion von γ. Als Ursache dieser Veränderung hat man früher Unregelmäßigkeiten bei der Entwicklung angenommen und zwar ein zu langsames Eindringen des Entwicklers in die Schicht, das Nachlassen der Reduktionskraft an den Stellen der stärksten Schwärzung, Anhäufung von Reaktionsprodukten usw. R. B. Wilsey[3]) hat aber gezeigt, daß diese Erklärungen nicht richtig sind, und daß diese Erscheinung eine Folge des unterschiedlichen Verlaufs der Hervorrufung an den Stellen, die verschiedene Belichtung erfahren haben, ist; die am stärksten belichteten Partien, bz. diejenigen, deren Belichtung oberhalb einer gewissen Grenze lag, erreichen ihre maximale Dichte schneller als die weniger stark belichteten Stellen. Die Verteilung des latenten Bildes (bzw. der Entwicklungszentren) als Funktion der Belichtung spielt hier also eine wichtige Rolle, demzufolge auch die Empfindlichkeitszentren in den Körnern verschiedener Größe.

Dies führt uns zu dem Ausgangspunkt von Sheppards Überlegungen zurück. Die Angaben der Empfindlichkeit auf Grund einer Bestimmung der Inertia oder von Koeffizienten, die dem Fußpunkt der Kurven entsprechen, wird von vielen Fabrikanten gänzlich verurteilt. Andererseits sind viele Verbraucher mit den von manchen Fabrikanten angegebenen Empfindlichkeitszahlen keineswegs einverstan-

1) „Phot. Journ." 54 (1914), 342.
2) F. F. Renwick, „Phot. Journ." 61 (1921), 10.
3) Optical Society of America, Ithaca, 1925. J. Opt. Soc. Am. (im Druck).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

den. Die Fabrikanten begründen ihre Ansicht mit dem Hinweis auf die Unzahl von Faktoren, die bei der Herstellung der Emulsion eine Rolle spielen. So sagt O. Bloch (l. c.) in bezug auf einige von ihm untersuchte Kinonegativfilme: „Die Tatsachen zeigen, wie außer-

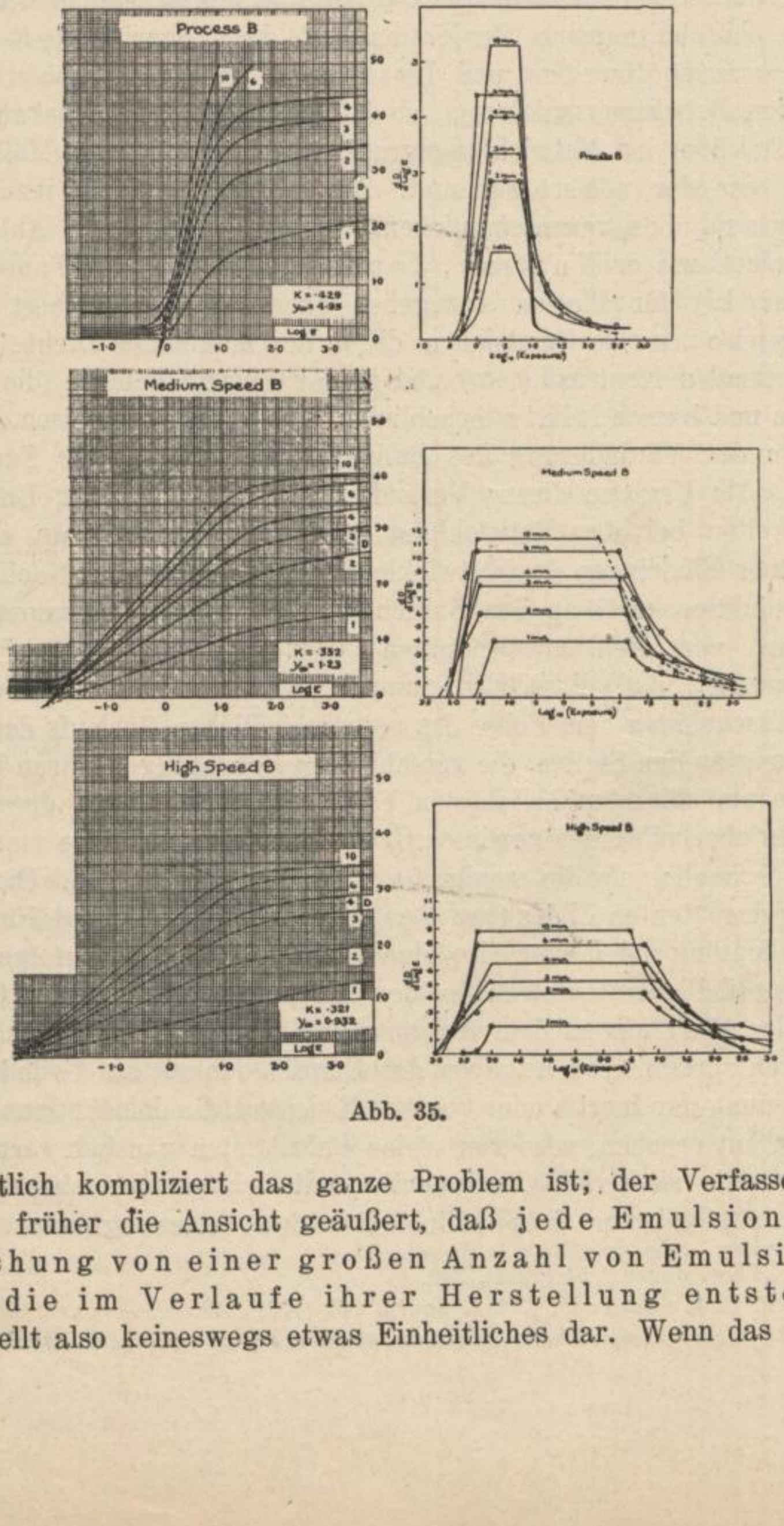


Abb. 35.

ordentlich kompliziert das ganze Problem ist; der Verfasser hat schon früher die Ansicht geäußert, daß jede Emulsion eine Mischung von einer großen Anzahl von Emulsionen ist, die im Verlaufe ihrer Herstellung entstehen; sie stellt also keineswegs etwas Einheitliches dar. Wenn das Silber-

nitrat dem Bromkalium hinzugefügt wird, ändern sich ständig die Bedingungen, unter denen das Bromsilber gebildet wird, denn die Konzentration des Bromkaliums wird fortdauernd verringert, während die des Kaliumnitrates zunimmt. Beim Reifen der Emulsion können die Bromsilberkörner nur auf Kosten von anderen Körnern wachsen, und es ergibt sich demzufolge ein sehr komplexes Resultat. Im Hinblick auf diese und andere Tatsachen sind Unterschiede wie die, die bei den untersuchten fünf Emulsionen festgestellt wurden, nicht verwunderlich."

Zur Ergänzung dieser Ausführung, schreibt Sheppard, wäre es interessant, zu erfahren, wie Olaf Bloch eine einfache Emulsion definieren würde, die man als eine von „der großen Zahl von Emulsionen" ansehen könnte. Wenn wir sie als eine Emulsion definieren, die aus Körnern von der gleichen Größe und derselben Empfindlichkeit besteht, so müssen wir bedenken, daß sie in einer Schicht, deren Dicke dem Durchmesser eines Kornes entspricht, keine Gradation ergeben würde. Nur eine dicke Schicht, die aus mehreren Lagen von Körnern besteht, kann infolge des mehr oder minder gesetzmäßigen Abfalls der Intensität des in die Schicht eindringenden Lichtes eine Reihe von verschiedenen Tönen wiedergeben. In der Praxis zeigt es sich jedoch, daß selbst die einfachste Emulsion, die hergestellt werden kann, eine — wenn auch relativ kleine — Reihe von Korngrößen und Empfindlichkeiten der einzelnen Körner aufweist; die letztere ist von der Verteilung der Empfindlichkeitskeime abhängig, diese hinwiederum wahrscheinlich von der „Größenverteilung" der Empfindlichkeitskeime. Der Prozeß, den O. Bloch beschreibt, beeinflußt nach Sheppard in erster Linie die Korngrößenverteilung und hat auf die tatsächliche Empfindlichkeit einen sehr geringen Einfluß, abgesehen davon, daß Korngröße und Empfindlichkeit in engem Zusammenhang stehen. Die von Sheppard und seinen Mitarbeitern ermittelten Kurven der Korngrößenverteilung einer großen Anzahl von Emulsionen verschiedenen Charakters haben ergeben, daß Emulsionen, die der Verfasser als orthophotisch bezeichnet hat, die größten Unterschiede in der Verteilung der Korngrößen aufweisen. Sie besitzen wahrscheinlich auch eine unterschiedliche Verteilung der Empfindlichkeitskeime. Die von O. Bloch beobachtete Anomalie und diejenige, die Sheppard allgemein als anorthophotisch bezeichnet hat, sind nicht notwendige Folgen des komplexen Charakters der Vorgänge bei der Emulsionsbereitung, sondern sie können

ebensogut vermieden als willkürlich hervorgerufen werden, denn der Fabrikant hat auf sie weitgehenden Einfluß.

Auf die Ursachen der Unterschiede zwischen den einzelnen Emulsionen und die Beeinflußung der Faktoren, die hier eine Rolle spielen, kann hier nur kurz eingegangen werden. Es kommen nach Sheppard die folgenden Faktoren in Betracht: 1. die Korngrößenverteilung, die abhängig ist von den Vorgängen bei der Bildung des Halogensilbers und Reifung (Rekristallisation und Anwachsen der Körner), 2. die Verteilung der Empfindlichkeitskeime, d. h. die Verteilung der Silbersulfidkeime nach der Größe. Ein wichtiger Schluß ergibt sich aus der Arbeit Svedbergs über Entwicklungszentren [1]), aus den Beobachtungen Davidsons [2]) über die Ausbreitung der Körner und ferner aus den Untersuchungen Wilseys [3]) über den Einfluß der Belichtung auf die Entwicklungsdauer. Sheppard glaubt, daß die Verteilung der Silbersulfidkeime, d. h. ihre Zahl und Größe auf das Korn, nicht nur die Empfindlichkeit und Grenze der Entwickelbarkeit beeinflußt und die Zahl der entwickelten Körner (von gegebener Größe), sondern auch die Geschwindigkeit, mit der sich eine gegebene Zahl von Körnern entwickelt. Es müßte möglich sein, zwei oder mehr Emulsionen zu mischen, die dieselbe Korngrößenverteilung und sogar die gleichen durchschnittlichen Korn-Empfindlichkeiten besitzen, aber eine sehr verschiedene Reaktionsfähigkeit des einzelnen Kornes. Unter Empfindlichkeit ist hier die Grenze der Entwickelbarkeit bei einer gegebenen Belichtung zu verstehen, unter Reaktionsfähigkeit die Dauer der Entwicklung bei der gleichen Exposition. Unter diesen Bedingungen würden Unterschiede bei der Entwicklung durchaus erklärlich sein. Jedenfalls kann durch die Korngrößenverteilung und Keimbildung, abgesehen von der Wirkungsweise des Jodids, der Charakter der Emulsion in weitgehendem Maße beeinflußt werden.

Die Grundlage für die wissenschaftliche Erforschung der photographischen Platte soll nach Sheppards Vorschlag die beschriebene Klassifikation der Emulsionen in orthophotische und anorthophotische bilden, von denen nur die ersteren der wissenschaftlichen Untersuchung zugänglich sind.

---

1) „Phot. Journ." 62 (1922), 310.
2) „Phot. Journ.", Januar 1925.
3) Journ. Opt. Soc. Amer. 1926.
4) Trans. Faraday Soc. 19 (1923), 404.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

IX. Schwärzungskurven abnorm silberarmer Emulsionen.

Sehr dünn gegossene oder sehr silberarme Gelatineemulsionen geben beim Entwickeln nur dünne Negative. Man kann sie hinterher in geeigneter Weise verstärken, um ihre schlechte Gradation zu heben. Christensen benützte hierfür die sog. Beizfarbenmethoden (1917) und arbeitete eine sparsame Methode der Negativherstellung auf dieser Grundlage aus (s. Eder, dieses Handbuch IV. 2. 1926. Vierte Auflage des Bandes „Pigmentverfahren").

SECHSTES KAPITEL.

PHOTOGRAPHISCHE KOPIERPAPIERE UND DIAPOSITIVE. — SILBER-, CHROMAT- UND DIAZOTYPPAPIER. — KOPIERUMFANG UND BILDKONTRAST IM NEGATIV- UND POSITIVVERFAHREN.

Auch bei den Kopierpapieren gibt es einen „Fuß“ der Schwärzungskurve (S. 54), daran anschließend und in gerader Linie ansteigend die Periode der normalen Exposition, welcher Gradient ausschlaggebend für die Gradation des Papieres ist; dann folgt die Abbiegung der Kurve in der Nähe der Maximalschwärzung.

Man kann die „Standard-Exposition beim Kopieren“ durch die Belichtungszeit (bezogen auf Meter-Kerzen-Sekunden) ausdrücken, die erforderlich ist, um ein Halbtonnegativ mit der maximalen Dichte 2,0 zu kopieren (Mees, Brit. Journ. Phot. 1929. S. 151).

Hierfür sind natürlich die photographischen Eigenschaften der benützten Kopierpapiere von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Gradation und die Maximalschwärzung sind nicht vollständig genügend, die Qualität des Papieres völlig zu erfassen, aber sie sind genügend zu ihrer annähernden Beurteilung.

Schwärzungserscheinungen photographischer Papierbilder im reflektierten Lichte.

Die Schwärzungsstadien photographischer Papierbilder werden für den Beschauer durch das reflektierte Licht ersichtlich gemacht.

Der Zusammenhang zwischen der Schwärzung eines photographischen Silberbildes auf weißem Papier mit der Schwächung des reflektierten Lichtes ist ganz analog den Schwärzungserscheinungen photographischer Platten im durchfallenden Lichte. Man setzt die Intensität des von weißem Papier reflektierten Lichtes gleich 1; dann ist die Schwärzung in den Weißen = 0. Wird Licht durch das schwärzliche Silberbild bei der Reflexion auf $^1/_{10}$ geschwächt, so hat die Schwärzung den Wert = 1 (s. Seite 22).

Die Schwärzungen von Papierbildern werden im reflektierten Lichte gemessen. Die Menge des Silberniederschlages beurteilt man bei Papieren durch Messung des vom geschwärzten Papiere reflektierten Lichtes. Man läßt das Licht auf das Papier im Winkel von 45 Grad einfallen und die Menge des reflektierten Lichtes wird von dem im Winkel von 90 Grad vor dem Papier aufgestellten Photometer gemessen. Die Schwärzung durch das Reflexionsvermögen R wird durch die Formel $\log \frac{1}{R}$ ausgedrückt. Dieser Wert wird in das Netz der Schwärzungskurven im Sinne Hurter und Driffields eingetragen und ergibt die Schwärzungskurve der Papiere in der Daraufsicht.

Das Reflexionsvermögen der Papierbilder wird aber nicht nur durch die Menge des Silberniederschlages, sondern in hohem Grade durch die Verschiedenheit der Papieroberfläche beeinflußt.

Das von einem Papierbild reflektierte Licht setzt sich zusammen aus zwei Komponenten: dem von der Oberfläche reflektierten Lichte (Glanz) der Bildschicht und von jenem Lichte, das die Bildschicht durchdringt und von der weißen Papierfläche reflektiert und nach neuerlichem Passieren der Silberbildschicht zu dem Auge des Beschauers gelangt. Es ist ohne weiteres klar, daß das Licht bei diesem Vorgange zweimal dieselbe Silberschicht durchdringen und demzufolge einen scheinbar größeren Schwärzungseffekt erzielen muß, als wenn es die Silberschicht nur einmal in der Durchsicht durchläuft.

Man unterscheidet in der praktischen Photographie

1. Auskopierpapiere, wie z. B. das Chlorsilberpapier, das in seiner einfachsten Form durch das Chlorsilber-Normalpapier von Bunsen und Roscoë repräsentiert ist. Für diese gilt in gewissen Grenzen das Bunsen-Roscoësche Reziprozitäts-Gesetz (s. S. 13). Auch bei den Zelloidin- und Aristo-Auskopierpapieren gestalten sich die Schwärzungskurven ziemlich einfach und sie verlaufen ziemlich regelmäßig, dasselbe gilt für Pigmentpapiere (s. S. 97 u. 104). Die Gradation ist allerdings je nach der chemischen Zusammensetzung der Auskopierpapiere sehr variabel und bekanntlich kann ein weich kopierendes Zelloidin- oder Platinpapier durch Zusatz von Oxydationsmitteln mehr oder weniger hart kopierend gemacht werden (s. Eder-Wentzel, Silberauskopierverfahren, Bd. IV, 1. Teil dieses Handbuches); Chromatpapiere ändern das Gamma und den Schwellen-

wert mit der Konzentration der Chrombäder, gewissen Zusätzen (z. B. Kupfersalzen) und zeichnen sich meistens durch eine regelmäßige Schwärzungskurve aus.

2. Entwicklungspapiere, welche durch Bromsilbergelatine- und Chlorsilbergelatine-Emulsionen auf Papier mit den üblichen Entwicklungsverfahren repräsentiert werden. An diesen lassen sich wie bei den Bromsilbernegativen die bekannten Stadien der Unter-, Normal- und Überbelichtung konstatieren und man muß den sehr großen Einfluß der Art der Entwicklung im Auge behalten. Die Schwärzungskurven der meisten Entwicklungskopierpapiere zeigen ein dominierendes gerades Stück der Schwärzungskurve und sie erreichen zufolge ihrer dünnen Emulsionsschicht schon nach kurzer Entwicklungszeit die Maximaldichte; es gelten für sie dieselben Schwärzungsgesetze wie für Negative.

Bei der eingehenden Beurteilung von Positivpapieren kommen folgende Punkte in Betracht, die bereits im Jahre 1892 von Jankó (Eders Jahrb. 1892, S. 267) aufgestellt wurden und die im wesentlichen von allen späteren Experimentatoren festgehalten wurden, wenn auch der Urheber von den neueren Autoren vergessen worden zu sein scheint. Jankó verlangt die Berücksichtigung von:

1. Kopiermethodenangabe, ob direkt, mit Entwicklung oder zum Teil direkt, mit Weiterentwicklung.

2. Oberfläche beim freien Trocknenlassen: Spiegelglanz, Albuminglanz, Halbglanz, wie die meisten Bromsilberpapiere oder matt.

3. Empfindlichkeitsangabe, Schwellenwert in Sek.-Meter-Kerzen. Dies ist das richtige Maß der Empfindlichkeit (nach Jankó), weil ein Bild dann fertig kopiert ist, wenn die stärksten Lichter gerade noch Details zeigen.

4. Zurückgehen im Ton- und Fixierbade. Es ist verschieden je nach den Tonbädern. Geringer bei Albuminpapieren als bei Aristopapieren. Im allgemeinen geringer beim Tonen vor dem Fixieren als in Tonfixierbädern (darin ist auch das Zurückgehen beim Fixieren inbegriffen).

5. Die Weiterentwicklung von Auskopierpapieren. Bei Papieren, die nur zum Teil direkt kopiert sind, erscheint es wichtig zu wissen, auf wieviel Grade des Sensitometers man bei der Weiterentwicklung rechnen kann.

6. Erreichbare Farbentöne.

7. Tiefe der größten Schwärzung. In Ermanglung exakterer Maße verglichen mit Albuminpapier als Standard.

8. Umfang der Schwärzungsgrade im Sensitometer von der größten Schwärzung bis zu ihrem Beginn. — Jankó bestimmt den Umfang der Sensitometergradation entweder von der geringsten Bildspur bis tiefsten Schwarz als absoluten Umfang, sowie von den praktisch noch verwendbaren Grenzwerten der Schwärzung. „Albuminpapier zeigt einen großen praktischen Kopierumfang, Bromsilberpapier einen wesentlich kleineren usw.“ (vgl. ferner dieses Handbuch, Bd. IV, 1, Wentzel Auskopierpapier mit Silbersalzen 1928. 3 Kapitel.)

Mögliche Schwärzungsabstufungen von Silberbildern in der angewandten Photographie. — Maximalschwärzungen.

Theoretisch kann man etwa 70—100 Schwärzungs-Abstufungen [1]) von Silberbildern auf Kopierpapier (dem Auge sichtbar) zwischen Weiß und Schwarz annehmen. In der praktischen Photographie erreichen aber die Kopien niemals diesen Reichtum der Tonabstufungen, ohne daß dies dem Bildeffekt schaden würde.

Die maximale Schwärzung von kräftig entwickelten Kopien (Durchschnittssorte aus Atelier-Betrieben) auf mattem Gaslicht- oder Bromsilber-Papier reflektiert ungefähr 6% jener Lichtintensität, die von der weißen Papierfläche reflektiert wird; das entspricht einer Tonabstufung der Papierschwärzungen (Reflexfähigkeit) = 1:16; beim Platindruck erreicht die Reflexionskraft vom tiefsten Schwarz bis zum Weiß beispielsweise ungefähr das Verhältnis von 1:25 [2]).

Hart arbeitende Gaslichtpapiere zeigen oft nur ungefähr fünf bis sechs verschiedene Töne zwischen reinem Weiß und tiefstem Schwarz und die Schwärzungskurve steigt ungemein steil an.

Glanzpapiere geben im allgemeinen eine etwas umfangreichere Skala der Schwärzungs-Abstufungen als analoge Mattpapiere.

Die Schwärzungsvorgänge bei sogenannten Auskopierpapieren (Salzpapier, Albuminpapier, Zelloidin-, Aristo-, Platin-Papier usw.) sind leichter zu verfolgen als die bei Entwicklungspapieren, weil bei letzteren die komplizierten Entwicklungsphänomene das Resultat stark beeinflussen.

Die im Kopierprozeß erreichte maximale Schwärzung bei Silber-Auskopierpapieren des Handels mit Zelloidin- oder Aristo-Emulsion kann durchschnittlich gleich 1,5—2,0 angenommen werden. — Demgegenüber wird die maximale erreichbare Schwärzung photographischer Entwicklungspapiere mit Silberhaloid-Emulsion bei voller Entwicklung ungefähr mit 1,3—1,6

---

1) Häufig findet sich die Annahme von 100 Schwärzungsabstufungen zwischen Weiß und Schwarz, die das menschliche Auge unterscheiden kann. — Dagegen nimmt Stewart gelegentlich eine Diskussion in der „Society of Motion Pictures Engineers“ über eine photometrische Sache von Loyd A. Jones an, daß nach der Entscheidung von Künstlern zwischen Weiß und Schwarz nur 71 Graustufen bestehen, die man gerade noch erkennen kann (Kinotechnik. 1928. S. 18).

2) Der zu der Reflexionsfähigkeit $^1/_{16}$ gehörige Logarithmus (sog. „Schwärzung“) ist 1,2; für $^1/_{25}$ ist er 1,4 (s. Tabelle S. 22 im Kap. III).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

befunden (logarithmisch ausgedrückt). Bei manchen sehr weich arbeitenden Bromsilbergelatinepapieren ist die Maximalschwärzung im reflektierten Licht etwa 0,7, bei kräftigeren 1,2 und bei sehr hart arbeitenden Chlorsilbergelatinepapieren mit Entwicklung erreicht die maximale Schwärzung z. B. 1,5 bis 1,9. Glänzende Papiere erscheinen meistens tiefer schwarz als matte.

Ähnliche Werte fanden P. G. Nutting und L. A. Jones[1]) bei ihren Untersuchungen der Schwärzungskurven photographischer Papiere der Eastman Kodak Co. mittelst eines Photometers, der kleine Flächen von 1 qmm zu betrachten gestattete (Abridg. Scient. Publ. Eastman Kodak, 1913/14, Bd. I, S. 48). Sie fanden für Eastmans Soliopapier (ein Auskopierpapier mit Chlorsilber-Gelatine) die Maximalschwärzung = 2,0; für glänzendes Veloxpapier (Chlorsilber-Gelatine mit Entwicklung) = 1,63 und für samtschwarzes Veloxpapier = 1,28. Ganz weiche Papiere, z. B. gewisse Bromsilberpapiere, erreichen nur die Schwärzung = 1,12 bis 1,34. Für Platinpapier = 1,20, für Kohlepapier = 1,35.

Die erreichbare Maximalschwärzung eines Kopierpapieres ist eine wichtige Charakteristik einer Emulsion, ist aber unabhängig von der Gradation. Im allgemeinen gilt eine hohe Maximalschwärzung als Zeichen einer guten Qualität des photographischen Papieres.

Die Wiedergabe der Kontraste wird durch das Gamma bestimmt.

Die praktische Erfahrung lehrt, daß ein Negativ z. B. mit dem Gradienten Gamma = 1 eine bildmäßig befriedigende positive Aufsichtskopie liefert, wenn man es auf einem kontrastreicheren Kopierpapier kopiert, das ein größeres Gamma aufweist.

Vergleich der Schwärzung einer auf Glas aufgetragenen Emulsions-Schichte im durchfallenden Lichte (als Diapositiv) und die Schwärzung im reflektierten Lichte mit hinterlegten weißen Schichten.

Bei der Betrachtung von Silberbildern auf Papier im reflektierten Lichte kann man feststellen, daß verhältnismäßig geringe Silbermengen einen hohen Grad der Schwärzung ergeben, weil das Licht zunächst die Bildschicht durchsetzen muß, von der weißen Papierunterlage reflektiert wird und erst nach dem zweiten Durchgang durch die Silberschicht des Bildes in das Auge des Beschauers gelangt.

Legt man ein schleierloses Glas-Diapositiv auf eine weiße Opalplatte oder auf weißes Barytpapier, so kann man es im reflektierten

1) Zur Messung der Helligkeit der von kleinen Flächen reflektierten Lichtintensitäten haben Nutting und L. A. Jones ein eigenes „Transmissions- und Reflexionsphotometer" konstruiert (Transact. Engineers Soc. 1914, Bd. 9, S. 611; auch in Abridg. Scientif. Publ. Eastman Kodak Nr. 15; 1913, S. 49).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Lichte als positives Bild betrachten, und den Zusammenhang der Schwärzungserscheinungen eines und desselben Diapositivs im durchfallenden und reflektierten Lichte erkennen.

F. F. Renwick (Eders Jahrb. für Phot. 1914, S. 124) untersuchte die Tonabstufungen eines Bromsilbergelatine-Diapositivs sowohl auf Glas im durchfallenden Lichte als auch im reflektierten Lichte im optischen Kontakt auf weißem Opalglas; Opalglas ist nämlich in bezug auf seine reflektierende Kraft sehr ähnlich dem rein weißen Barytpapier. Die erhaltenen Resultate sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben:

Renwicks Tabelle.

Dichte (Schwärzung) im durchfallenden Lichte	Reflexionsdichten (Schwärzungen)
1,925	1,46
1,67	1,45
1,31	1,43
1,11	1,42
0,98	1,38
0,84	1,33
0,71	1,23
0,59	1,12
0,51	1,02
0,36	0,80
0,33	0,75
0,25	0,62
0,17	0,46
0,15	0,40
0,12	0,34
0,08	0,27
0,06	0,20

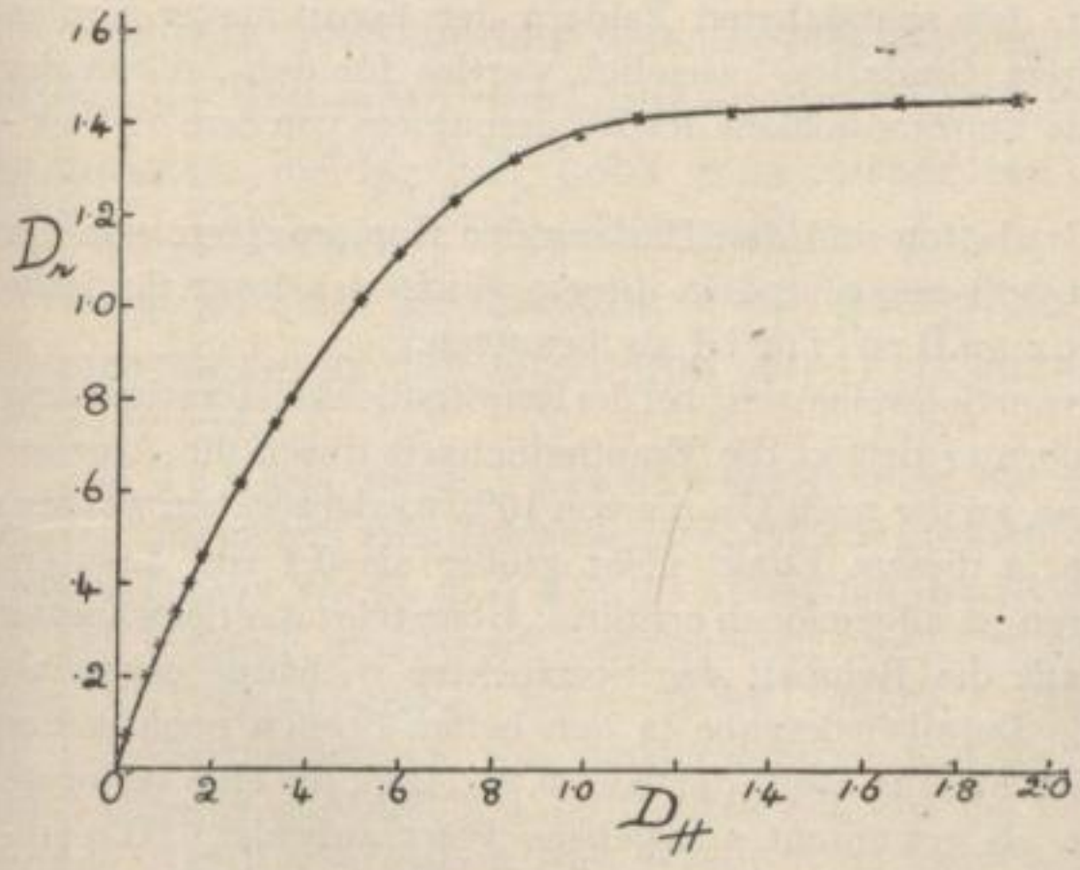


Abb. 36. Schwärzungskurve eines Positivs auf Opalglas nach Renwick.

Die zu diesen Werten in Beziehung stehende Kurve gibt Renwick in Abbildung 36.

Diese Kurve zeigt, wie außerordentlich wirksam die geringen Schwärzungen bei der Erzeugung eines kräftigen Bildes bei reflektiertem Licht sind und wie diese Kraft bei größeren Dichtigkeiten allmählich und dann mit zunehmender Schnelligkeit abnimmt, bis keine weitere Tiefe der Schwärzung mehr erkenn-

bar ist. Differenzen zwischen Schwärzungen über 1 sind für die Praxis der Kopierverfahren von keinem Wert zur Erzeugung von Tonunterschieden, während selbst von 0,7 bis 1,0 die Schwärzungsdifferenzen beträchtlich sein müssen, wenn sie im reflektierten Lichte deutlich unterscheidbar sein sollen.

Schwellenwert, Gradation und Maximalschwärzung.

Für die Beurteilung eines Kopierpapieres kommen zunächst in Betracht: der effektive Schwellenwert[1]), der ungefähr bei der Reflexionsschwärzung 0,1 oder 0,2 beginnt, dann die Gradation (ob hart oder weich arbeitend) und die erreichbare Maximalschwärzung.

Sehr wichtig für das Verhalten eines Kopierpapieres ist seine Gradation, die mit dem „Gamma“ (s. S. 29) korrespondiert. so wie es bei der Beschreibung des Negativmateriales erwähnt wurde.

Zunächst stellt man bei der Beurteilung eines Kopierpapieres die Anzahl der Sensitometergrade fest, welche den Schwellenwert und die tiefste Schwärzung erfassen und deren Skalenwert bekannt sein muß, so daß man die dazugehörigen Lichtmengen ziffernmäßig feststellen kann. Man bezeichnet diese Grenzen der Lichtmenge vom Schwellenwert bis zum tiefsten Schwarz — dort wo trotz zu-

---

1) Der Schwellenwert von Kopierpapieren kann ebenso wie bei Negativen in zwei Stadien geteilt werden;

Der wahre Schwellenwert, welcher die letzten Ausläufer der schwächsten Schwärzung angibt, während der effektive Schwellenwert den Beginn der Abstufung in den schwächsten Feldern der Sensitometer-Kopien angibt. Auch hier ist eine „leere Gradation“ ziemlich wertlos für den Aufbau der Halbtonbilder und man mißt die Empfindlichkeit der Kopierpapiere von dem effektiven Schwellenwert aus.

Hübl schlug vor, die Gradation und den Umfang der Kopierpapiere von der Schwärzung 0,1 ausgehend zu bestimmen und in diesem Sinne das logarithmische Koordinatennetz von Hurter & Driffield zu benutzen.

Goldberg geht nicht vom Schwellenwert bei der Empfindlichkeitsbestimmung eines Kopierpapieres aus, sondern er drückt die Empfindlichkeit durch die Abszisse der hellsten Stelle des Bildes aus, an der noch Details von 10% wiedergegeben werden, vorausgesetzt, daß die Dichte in diesem Punkt nicht größer als 0,1 ist. Letztere Bedingung ist bei guten Papieren im allgemeinen erfüllt. „Übersteigt die Schwärzung diesen Wert, so muß man, falls die Reinheit der Spitzlichter wichtiger erscheint, mit den Anforderungen an die Detailwiedergabe in den hellen Stellen noch weiter zurückgehen und den Bildbeginn an eine Stelle der Kurve verlegen, die eine geringere Detailwiedergabe als der eben als erwünscht angegebene Wert aufweist“ (Goldberg, Aufbau des phot. Bildes, 1925, S. 54. — Näheres siehe dieses Handbuch, Band IV, 1).

nehmender Exposition die Schwärzung sich nicht mehr ändert — als den Umfang der Gradation.

Derartige Konstanten für Kopierpapiere wurden von Jankó (1892), dann von E. Valenta (1896, Jahrbuch f. Phot.), Hübl u. a. mittels des wenig genauen Vogelschen Seidenpapier-Skalenphotometers gemessen und der Begriff des Umfanges der Gradation eingeführt. (Vgl. dieses Handbuch, Bd. IV, 1. T., Wentzel, Silberauskopierverfahren, 1928.)

Schwärzungskurven von Kopierpapier werden im Sinne von Hurter und Driffield derzeit auf ein Koordinatennetz (Logarithmus-Exposition und die Schwärzung) bezogen, so daß sie analog den Schwärzungskurven der Negative betrachtet werden können. Diesen Vorgang hielt Ch. Jones (Phot. Journal 1896, S. 370) schon vor 30 Jahren ein und er ist allgemein gebräuchlich geworden.

Der Kopierumfang photographischer Kopierpapiere ist später vielfach mit genaueren Meßinstrumenten bestimmt worden und wird entweder in den Sensitometergraden des jeweilig verwendeten Sensitometers oder durch die Grenzwerte der wirkenden Lichtmengen oder durch den Logarithmus der Expositionsachse an den Schwärzungskurven im Sinne der Hurter und Driffieldschen Methode angegeben.

Der Zusammenhang der Schwärzung mit der Belichtung photographischer Kopierpapiere wurde zuerst von Hurter und Driffield grundlegend bearbeitet und in neuerer Zeit führte dies insbesondere Mees genauer aus (Phot. Journ. 1924).

Zwecks Bestimmung des Kopierumfanges gibt man bei den zu prüfenden Papieren den Schwellenwert und den Abstand bis zu dem dunkelsten Felde, das noch eine Gradation aufweist, an und liest die dazugehörigen Expositionszeiten ab.

Ein geübter Beobachter sieht dabei ohne weiteres die geringsten Unterschiede in der Gradation der Vergleichsproben und lernt bald

---

1) Jankó, sowie Valenta bestimmten die Zahl der Grade des Vogelschen Photometers vom Schwellenwert bis zur größten Schwärzung, welcher Vorgang vielfach befolgt wurde. E. Valenta fand den Gradationsumfang für Albuminpapier = 18° Vogel, was einer Lichtreflexion von 1 : 70 entspricht; für Zelloidinpapier aber 12° Vogel (oder 1 : 17). — Hübl (Jahrb. f. Phot. 1897, S. 368) konstruierte die Schwärzungskurven von Kopierpapieren und zeigte, daß das Albuminpapier einen langsamen Abfall von der tiefsten Schwärzung zu den Mitteltönen, aber einen raschen Abfall von diesem zum reinen Weiß aufweist; demzufolge zeigt es scharf begrenzte Spitzlichter, etwas derbe Details in den Lichtern, eine reiche Fülle von guten Mitteltönen und schwere Schatten.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ihren Einfluß der Gradation der photographischen Kopien auf das Aussehen von Halbtonbildern richtig einschätzen.

Meistens drückt man den Kopierumfang durch jene Expositionszeiten aus, welche einerseits zur Erreichung des Schwellenwertes und andererseits bis zum letzten noch abgestuften Schwärzungsfelde notwendig sind.

Dieser einfache und übersichtliche Weg wurde auch von K. Mees im Eastman Kodak Untersuchungslaboratorium in Rochester eingehalten; er nimmt an, daß ein Entwicklungspapier durchschnittlich einen Umfang der Schwärzungsskala von 1:20 haben soll, d. h. daß z. B. die erste Spur der Papierschwärzung mit einer Exposition von einer Sekunde, und das tiefste Schwarz mit 20 Sekunden erhältlich ist. Allerdings erschöpft diese Feststellung des Umfanges der Skala nicht alle verschiedenen Töne im Abdruck. Ein Papier mit der Skala 1:20 erfordert ein Negativ, in welchen die dichtesten Stellen $^1/_{20}$ des Lichtes von den durchsichtigsten Stellen durchlassen. Ein solches Papier ist z. B. das Spezial-Velox der Eastman Kodak Co. Das gewöhnliche Velox hat nur eine Skala von 1:10 und ist bestimmt für Negative von mäßigen Kontrasten, während flaue Negative mit Kontrast-Velox von der Skala 1:5 kopiert werden.

L. A. Jones hat einen allgemeinen Ausdruck zur Definition der Kontraste eines Papieres aus seiner charakteristischen Kurve gegeben:

Das Produkt der Differenz der extremen Dichten mal der Steilheit der Kurve innerhalb derselben wird bezogen auf die Beleuchtung oder die relativen Dichten (vgl. den nächsten Abschnitt).

Veränderung des Schwellenwertes und der Gradation beim Fixieren.

Papiersorte	Umfang der Gradation vor dem Fixieren	nach dem Fixieren	Verlust an Schwärzung in Vielfachen des Schwellenwertes
Lainer-Hrdliczka, Zelloidin glänzd.	48	23	2,5 fach
Vindo Matt von Lainer u. Hrdliczka Zelloidin	147	48	3
Rembrandt-Zelloidin von Lainer u. Hrdliczka	19	3,6	13
Vindofix von Lainer und H. (selbsttonend) Zelloidin	23	13	3,6
Satrap Zelloidin	100	33	3,6
Mimosa Zelloidin, matt	70	28	2,5
Wellington self toning Paper . .	40	13	11
Gevaert hart arbeitend, glänzend .	13	3,6	5

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Otto Papesch untersuchte im Versuchlaboratorium der Photo-Fabrik von Lainer und Hrdliczka in Wien verschiedene Auskopierpapiere (1928) auf ihren Kopierumfang, bezogen auf Vielfache des Schwellenwertes, welche Zahlen in vorstehender Tabelle direkt vergleichbar sind mit denen Clercs.

Das „Zurückgehen" der Kopien beim Fixieren ist eine charakteristische Konstante der Silberauskopierpapiere; der Schwellenwert steigt nach dem Fixieren um das zirka dreifache bei gewöhnlichen Kopierpapieren, bei extra hart arbeitenden Auskopierpapieren aber um das fünf- bis dreizehnfache.

L. P. Clerc gibt in seiner „La Technique Photographique" 1927, II, Seite 467 und Seite 566, folgende mittleren Werte des Umfanges der Gradation verschiedener Kopierpapiere, deren Zahlenwerte allerdings höher als die der anderen Beobachter sind:

Photographische Papiere	Mittlerer Umfang der Gradation	Intervalle der extremen Dichten der verschiedenen Typen von Negativen
Hart arbeitende Gaslichtpapiere . .	1 : 10	sehr schwache Negative 1 : 5
Gewöhnliche Gaslichtpapiere . . .	1 : 20	schwache Negative . . 1 : 10
Bromsilbergelatinepapiere	1 : 40 bis 60	mittelstarke Negative . 1 : 20
Chlorsilber-Auskopierpapiere. . . .	bis 1 : 60	kräftige Negative . . 1 : 40
Pigmentpapiere	1 : 80	sehr kräftige Negative. 1 : 80
Platinpapiere	1 : 100	und darüber
Zyanotyppapiere mit braunem Ferriammoniumzitrat	1 : 34	
dto. mit grünem Salz	1 : 47	

Glücklicherweise kann beim Kopieren ein großer Spielraum stattfinden: einerseits erscheint ein dunkles Grau in der Kopie zufolge seines Kontrastes mit den hellen Halbtönen dem Beschauer schwarz und andererseits schädigt die Aufopferung einiger Details im Schatten des Bildes nicht immer den Effekt.

Man muß aber den Grundsatz aufstellen, daß jeder Sorte von lichtempfindlichem Papier ein optimales Intervall der extremen Dichte des Negativs entspricht und daß kein Negativ gleich befriedigende Kopien auf Papieren von sehr verschiedenem Charakter liefern kann.

Ebenso wie es unmöglich ist (außer bei streng identischen Versuchsbedingungen), Negative von völlig gleichartigem Charakter zu erhalten, muß man jederzeit 2 oder 3 Abarten verschieden graduierter Papiere zur Verfügung haben und dann zu jedem Negativ das ihm entsprechende Kopierpapier wählen.

Bei Diapositiven kann die Gradation viel besser als bei Papierbildern durch Belichtungszeit und Entwicklungsdauer geregelt werden und dies ist der Grund, warum man in der Photographie nicht so viele Sorten von Diapositivplatten benötigt, sondern mit wenigen Sorten derselben sein Auslangen findet.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Angaben des Umfanges der Kopierpapiere durch den Logarithmus der Exposition für die Maximalschwärzung und die Inertia des Papieres.

Häufig wird der Umfang des Kopiermaterials in Anlehnung an die Schwärzungskurve durch den Logarithmus der Exposition im Sinne von Hurter und Driffield angegeben. Diesen Weg schlugen u. a. Jones, Nutting und Mees (1914) ein, um die „Latitude of the paper“ (Umfang des Kopierpapiers) zu ermitteln.

Zu diesem Zwecke wird die charakteristische Schwärzungskurve des Kopierpapieres im reflektierten Lichte in der üblichen Weise konstruiert und die Gesamtlänge der Schwärzungskurve vom Schwellenwerte bis zur Maximalschwärzung festgestellt. — Diese Gesamtlänge ist selbstverständlich größer als der mittlere gerade Teil der Kurve, der eine Wiedergabe von Abstufungen in der Periode der normalen Schwärzung wiedergibt. — Diese Gesamtlänge der Schwärzungsskala nennen Jones, Nutting und Mees (Abridged Scient. Publ. Eastman 1913/14, Nr. 15) die „totale Skala“ eines Kopierpapieres. — Diese Ausdrucksweise wird definiert als die Reihe der Expositionen oder des Logarithmus der Expositionen, welche durch das Papier als Skalenfelder verschiedener Schwärzung reproduzierbar sind. Zeichnet man in der üblichen Weise die Schwärzungskurve, so findet man die korrespondierenden Punkte an der log Expos.-Achse. Am Schwellenwert oder der Inertia findet man die untere Grenze, an der Stelle der Maximalschwärzung die obere Grenze[1]).

Die Gesamtlänge der Schwärzungskurve (vom Schwellenwert bis zur Maximalschwärzung) ist natürlich größer als der mittlere gerade Teil der Kurve, der eine Wiedergabe von Abstufungen der Schwärzung normal wiedergibt. — So z. B. fanden Jones, Nutting und Mees die „Latitude der Exposition“ für sehr hart arbeitende Positivpapiere 2,1, für Velox-Papier 2,9 bis 3,5, für Solio-Auskopier-Papier 3,9, für Platin-Papier 4,2, für Kohle-Papier 3,4 (logarithmisch ausgedrückt).

Bei der Bestimmung der Größe der „totalen Skala“ pflegt man den effektiven Schwellenwert zu bestimmen und muß wohl auch

---

1) Auch Goldberg benutzt den Begriff der „totalen Skala“ und bezieht ihn auf die Abszissenlänge von der Schwärzung 0,1 bis zu dem Punkt in den größten Dichten, in dem gerade noch Details von 25% wiedergegeben werden. — Die Abszissenlänge der beiden Punkte nennt Goldberg den „Kopierumfang“ (Goldberg, Aufbau des phot. Bildes, 1925). — Über „Detailwiedergabe“ s. Goldberg, Zeitschr. wissensch. Phot. 1911, Bd. 9, S 323. — Über die „Beziehung zwischen photographischer und visueller Unterschiedsempfindlichkeit“ s. Felix Formstecher, Phot. Industrie“ 1927.

den „Fuß“ der Schwärzungskurve beachten. (Analog der Bestimmung des effektiven Schwellenwertes bei Negativen s. S. 54.)

Oder man beginnt nach dem Vorschlage von F. Formstecher (Phot. Ind. 1924, S. 330; vgl. dieses Handbuch 1928, IV. Bd., 1. T., S. 37) konform den Vorschlägen Hübls mit der Dichte 0,1 und mißt bis zur dichtesten noch abgestuften Schwärzung; die Länge dieser Linie, bezogen auf die Logarithmus-Expos.-Achse gibt die Länge der „totalen Skala“ des Kopierpapieres im Sinne von Jones, Nutting und Mees. — In diesem Sinne bestimmte Formstecher die „totale Skala“ verschiedener Kopierpapiere und gibt in Kolonne *A* den Schwellenwert (bezogen auf die Dichte 0,1) als relative Empfindlichkeit, die „totale Skala“ (*B*), und die zur Erreichung der Maximaldichte erforderliche Belichtungszeit (*C*) im Vielfachen des Schwellenwertes, ausgedrückt im Logarithmus der Exposition, in folgender Tabelle.

Zelloidinpapiere	A	B	C
Glänzend für Tonfixierbad	1	1,9	2,0
Matt für Tonfixierbad	1	1,5	1,8
Matt für Platintonung	$^1/_2$	1,8	2,2
Hartarbeitend, glänzend	$^1/_{10}$	1,0	1,9
Hartarbeitend, matt	$^1/_{10}$	1,0	1,8

Aristopapier (Solio-Papier der Kodak-Gesellschaft) untersuchte Loyd A. Jones und fand eine größte Dichte = 2,00, einen Anstieg im gradlinigen Teil der Kurve $\gamma = 1{,}50$, ferner für die ganze Gradationslänge log E = 0,80, für den gradlinigen Teil der Kurve log E = 0,60.

Die Positiv-Kinofilme besitzen einen verschiedenen Umfang, der mit der Art und der Zeitdauer der Entwicklung schwankt, was ja bei allen Emulsionen im allgemeinen der Fall ist. Speziell für Agfa, Kodak und Zeiß-Ikon Positiv-Filme bestimmten C. Emmermann und Ch. Reinecke (Filmtechnik 1928, S. 454) den Kopierumfang in logarithmischen Werten in nachstehender Tabelle:

Kopierumfang von Positiv-Filmen bei verlängerter Entwicklungszeit nach Emmermann und Reinecke.

Material	Kopierumfang							
	Positiventwickler				Titelentwickler			
	Entwicklungszeit in Minuten							
	2	4	6	8	2	4	6	8
Agfa	2,10	1,90	1,85	1,80	1,80	1,50	1,40	1,25
Kodak	1,80	1,75	1,70	1,50	1,60	1,50	1,40	1,30
Zeiss Ikon.	2,20	1,80	1,70	1,65	1,60	1,50	1,40	1,30

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Den Umfang der Gradation von Lichtpauspapieren untersuchte J. M. Eder (1928) mittels des Eder-Hecht-Graukeilphotometers bei Tageslicht und fand folgende Ergebnisse:

Papiersorte (Lichtpauspapiere)	Umfang der Gradation	
	Ausgedrückt in Vielfachen des Schwellenwertes	Ausgedrückt in Log Exposition
Rapides Zyanotyp-Papier	32	1,5
Ozalid von Kalle	10	1,0
Primulinpapier von Van der Grinten	8	0,9
O. C. Papier von Van der Grinten	10—12	1—1,1

Ozalid und Primulinpapier waren mit Ammoniakdämpfen entwickelt, das O.-C.-Papier Van der Grintens war mit einer dünnen Schicht einer alkalischen Lösung der Azo-Komponente des Diazotyppapieres entwickelt. Alle drei Lichtpauspapiere waren annähernd praktisch gleich empfindlich. Die in der Tabelle angegebenen Zahlen des Umfanges der Gradation zeigen, wie kontrastreich und wie brillant diese Diazopapiere gegenüber dem Zyanotyppapier kopieren. Der kleine Umfang der Gradation bei hoher Lichtempfindlichkeit wirkt sehr günstig für die Erzielung kräftiger Linien auf rein weißem Grunde nach Strichzeichnungen. Dieser kleine Umfang der Gradation (das große Gamma) entspricht der Schwärzungskurve extra hart kopierender Gaslichtpapiere (Chlorsilbergelatine mit Entwicklung) und kann sie sogar übertreffen.

Man muß (Mees) für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Kopiermaterials drei Faktoren berücksichtigen:

1. Die extremen Helligkeiten des Objektes,
2. das Gamma des Negativs, welches angibt, bis wieweit die Entwicklung getrieben worden war,
3. die Empfindlichkeit und nützliche Gradation (der Umfang) des Kopiermaterials [1]).

Der Praktiker hat diese Faktoren empirisch unter seiner Kontrolle, teils durch die Art der Beleuchtung usw. und die Methode der Entwicklung.

---

1) Über die Gradation von verschiedenartigen Kopierpapieren arbeitete Goodwin, Brit. Journ. Phot. 1905, Bd. 52, S. 187, 207 u. 227.

Für die Bestimmung der Eigenschaften des Kopiermaterials ist die Konstruktion der Schwärzungskurve empfehlenswert.

Die Schwärzungskurve von photographischen Papierbildern.

Bei den Kopierpapieren erkennt man im Verlaufe der Schwärzungskurve bei progressiver Belichtung einen Schwellenwert, ein langsames Ansteigen der Schwärzungskurve in der Periode der Unterexposition (mit einem mehr oder weniger großen „Fuß“ der Kurve), der bei Silberauskopieren sehr klein ist oder bei Bunsens Normalchlorsilberpapier ganz fehlt.

Alle Entwicklungspapiere zeigen eine Abhängigkeit von der Art des Entwicklers und einem Gehalt an Bromkalium usw., wie wir dies im Negativprozeß kennen gelernt haben; die weitaus dünnere Schicht der Kopierpapiere setzt jedoch der Wirkung des Entwicklers früher eine Grenze. — Weich arbeitende Gaslichtpapiere verarbeitet man mit etwa Gamma = 0,8. Kräftiger arbeitende werden ungefähr bis Gamma = 1 bis 1,2 und hart arbeitende werden unter Umständen bis Gamma = 2 entwickelt. Jedoch kommen in der Photoindustrie zahlreiche Varianten solcher Aufsichtspapiere vor.

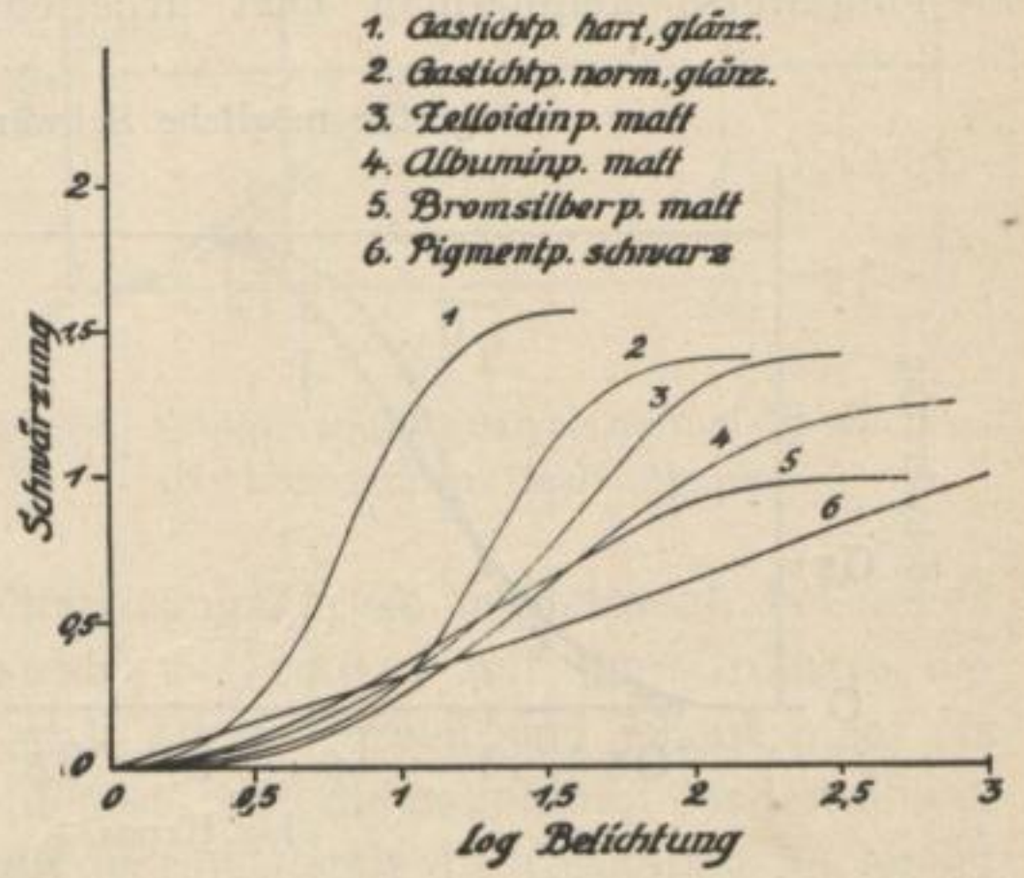


Abb. 37. Schwärzungskurven von Kopierpapieren nach Goldberg.

Eine orientierende Vergleichung der Schwärzungskurven der verschiedenen Positiv-Kopierverfahren gibt Goldberg in seinem Büchlein „Der Aufbau des photographischen Bildes“ 1922, S. 56, dem wir die Abb. 36 entnehmen.

In dieser Abbildung sind die Schwärzungskurven von Gaslichtpapier hart (1), Gaslichtpapier normal, glänzend (2), Zelloidinpapier, matt (3), Matt-Albuminpapier (4), Bromsilberpapier, matt (5), und Pigmentpapier, schwarz (6), abgebildet.

Diese Kurven dienen lediglich als Beispiele, denn sie ändern sich mit der Art des Photomaterials beträchtlich.

Die üblichen Positiv-Bromsilber- und Gaslichtpapiere (mit Entwicklung) besitzen meistens eine steilere Gradation als das Negativmaterial und man verlangt völlige Schleierlosigkeit der Bilder.

Es ist auch dem praktischen Photographen wohlbekannt, daß sowohl bei Bromsilber-, insbesondere aber beim Chlorsilber- oder Gaslichtpapier beim Entwickeln in kurzer Zeit die Maximalschwärzung erreicht wird und diese dann auch bei verlängerter Entwicklungsdauer stehen bleibt, dies hängt mit der sehr dünnen Emulsionsschicht der Kopierpapiere zusammen. — Je nach der Herstellungsweise kennt man hart arbeitende und weich arbeitende

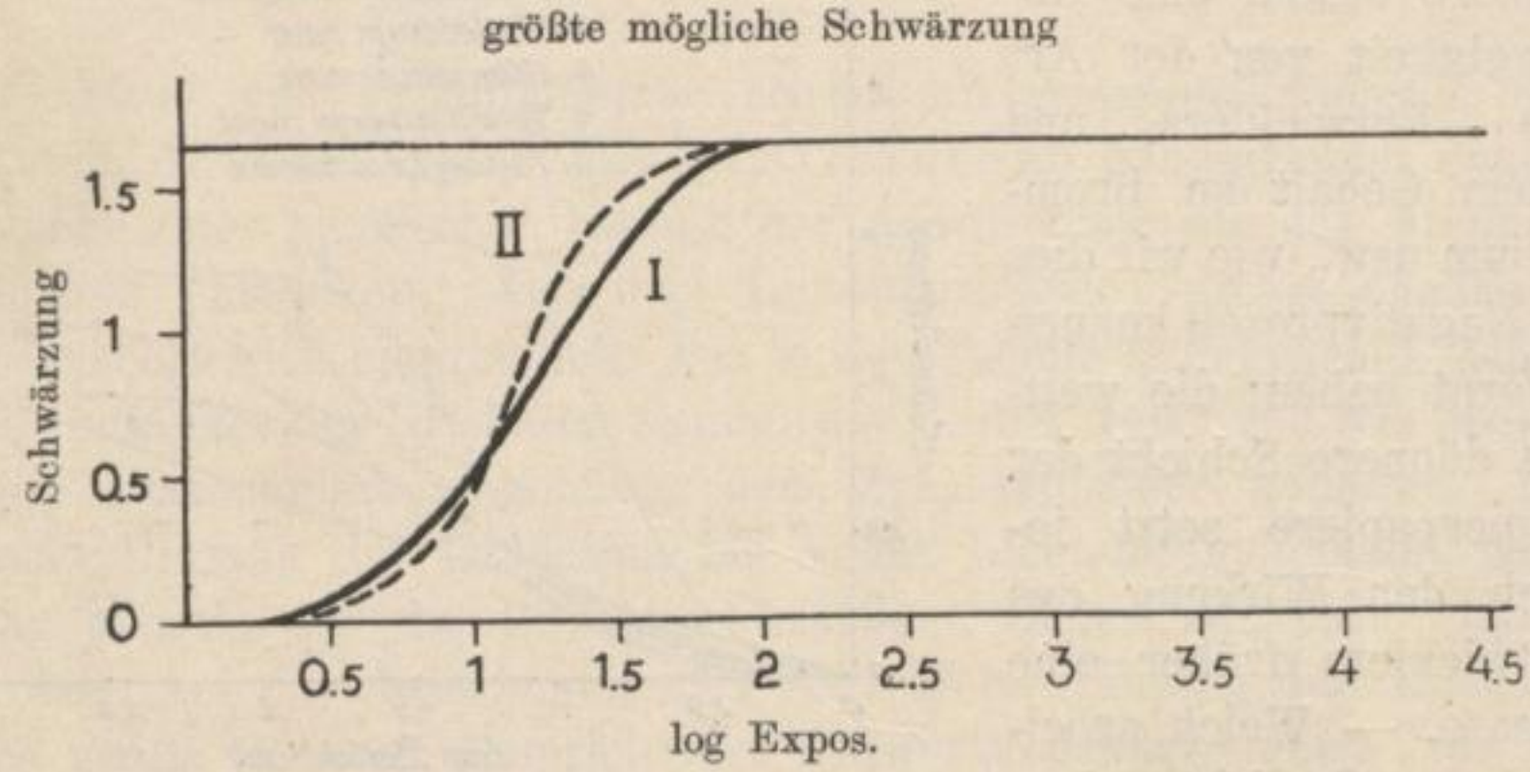


Abb. 38. Schwärzungskurven von Emulsionspapieren. — I. Empfindlicheres und weicheres Bromsilberpapier. — II. Weniger empfindliches und härteres Gaslichtpapier.

Sorten von Emulsionspapieren, wie dies schematisch in Abb. 38 dargestellt ist, in welcher die Kurve I ein weich arbeitendes Bromsilbergelatinepapier und den langsameren Anstieg der Schwärzungskurve darstellt, während die Kurve II den Verlauf der Schwärzung einer Sorte von weniger empfindlichen und sehr hart arbeitendem Gaslichtpapier repräsentiert[1]); — wie man sieht, überholt letztere Sorte die Schwärzung der ersteren, was zu einer Kreuzung der Kurven führt. —

Die Kurven in Abb. 39 zeigen an einem anderen Beispiel die Schwärzung zweier Gaslichtpapiere hart und normal arbeitend

1) Die Papiersorte II wurde entsprechend ihrer geringeren Empfindlichkeit länger belichtet.

(Vitexpapier von Gaevert) nach Messungen von Emmermann (Phot. Chronik 1927, S. 320). Die hart arbeitende Sorte besitzt in diesem Beispiele das Gamma von 1,0, die normale aber 0,8; Empfindlichkeit $^1/_8$ von Bromsilberpapier. — Die Schwärzungskurven beider schneiden sich, wie die Abb. 38 zeigt[1]).

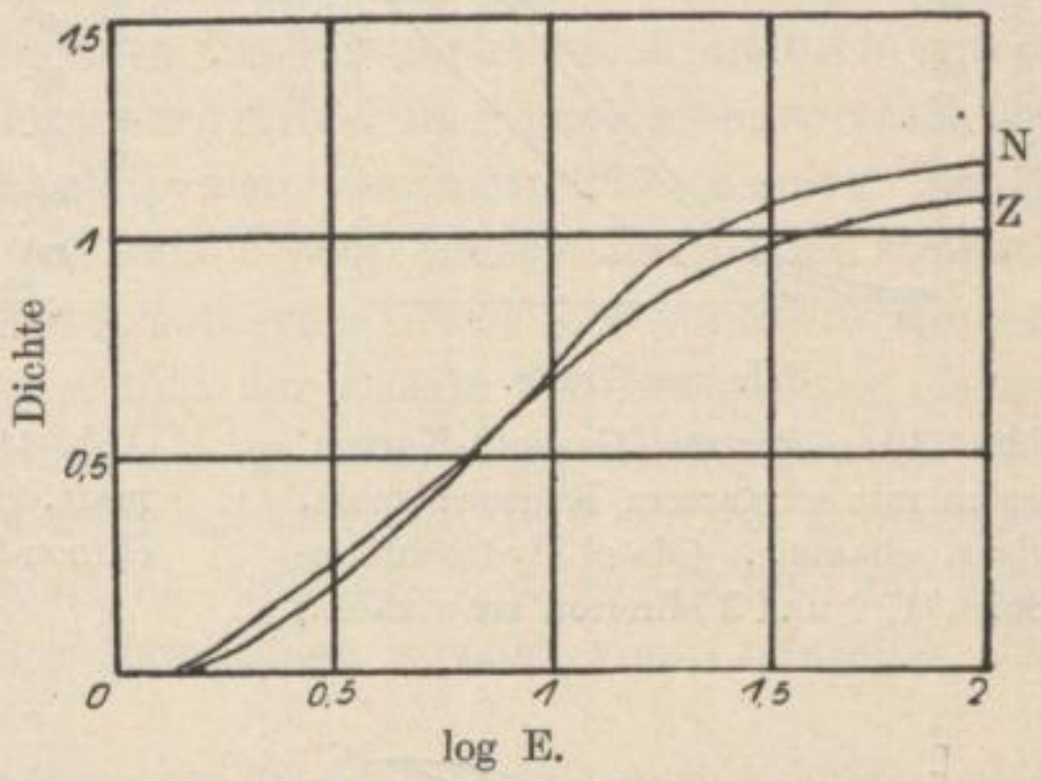


Abb. 39. Schwärzungskurve von normal (Z) und hart (N) kopierendem Gaslichtpapier.

Eine gute Übersicht über die Gradation gebräuchlicher Gaslichtpapiere gewährt beispielsweise die einheitlich durchgeführte Untersuchung der Papiere der Firma Trapp und Münch: sie wurde von K. Kieser mittels des Scheiner-Sensitometers vorgenommen (1927), dessen Arbeitsvorgang in Kapitel XX beschrieben ist. Hier kommen die gewonnenen Schwärzungskurven in Betracht, bei denen auf der Abszisse die Scheiner-Grade, auf der Ordinate die Schwärzungen aufgetragen sind. Diese Kurven sind jedoch nicht als Empfindlichkeitsanzeigen zu deuten, weil die Belichtung der jeweiligen Lichtempfindlichkeit angepaßt wurde, damit die Gradation an einem einzigen Bild gemessen werden kann. Als Entwickler diente ein Metol-Hydrochinon-Soda-Entwickler mit 8 g Metol, 24 g Hydrochinon, 200 g Natriumsulfit krist., die zu 2500 ccm Wasser aufgelöst und mit gleichen Vol. einer 10proz. Sodalösung vermischt wurden. Diese Vorratslösung wurde vor dem Gebrauche noch mit dem gleichen Vol. Wasser verdünnt, so daß auf 100 ccm Entwickler 0,08 g Metol und 0,24 g Hydrochinon kommen. Abb. 40—43 zeigen die Schwärzungskurven verschiedener hart und weich arbeitender Gaslichtpapiere mit einer Entwicklungsdauer von 1, 2 und 3 Min. Im allgemeinen werden Gaslichtpapiere in diesen Entwicklern praktisch nie länger als eine Minute entwickelt, aber es ist sehr

---

1) Auch bei diesem Beispiel wurde das hart arbeitende Papier entsprechend der geringeren Empfindlichkeit entsprechend länger belichtet, um auf denselben Ausgangspunkt der Kurve zu gelangen.

interessant zu sehen, wie sehr sich teilweise bei längerer Entwicklung der Bildcharakter ändern würde.

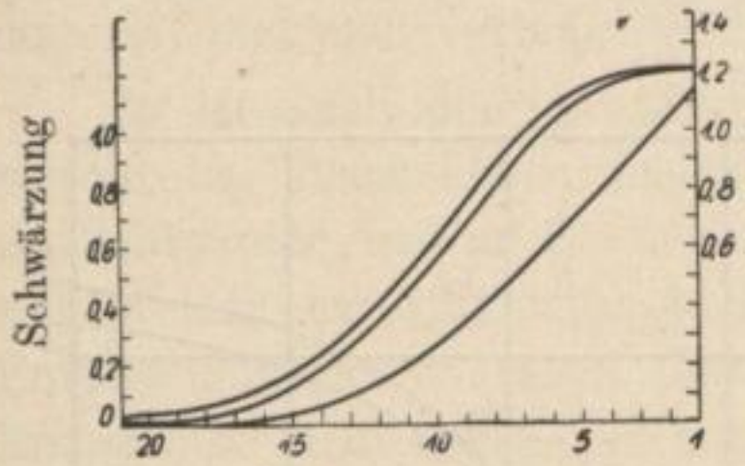


Abb. 40. Porträt-Gaslicht-Karton, weich mit schwarzem Bildton; matt, glatt, chamois. (Metol-Hydrochinon-Soda, 1, 2 und 3 Minuten entwickelt.)

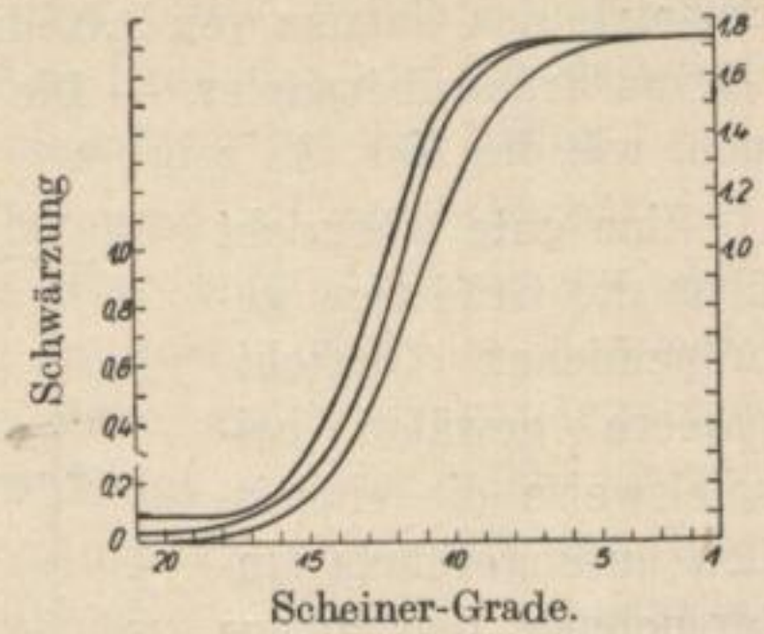


Abb. 41. Gaslicht-Papier, hart, halbmatt, glatt, weiß. (Metol-Hydrochinon-Soda; 1, 2, 3 Min. entwickelt.)

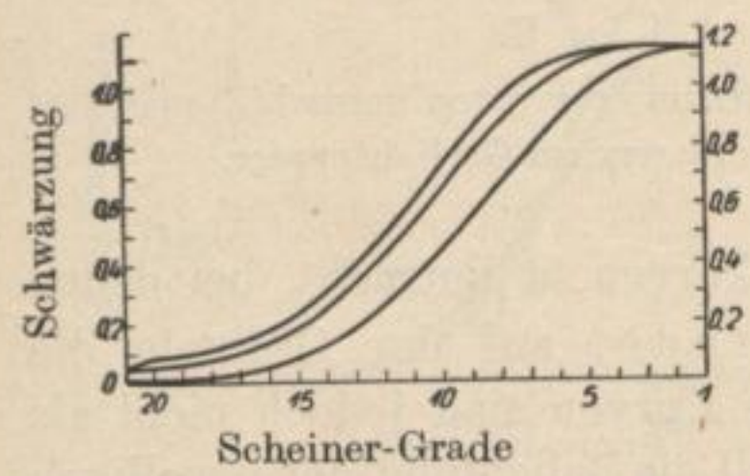


Abb. 42. Porträt-Gaslicht-Papier, weich mit braunem Bildton; matt, glatt, chamois. (Metol-Hydrochinin-Soda, 1, 2 u. 3 Min. entwickelt.)

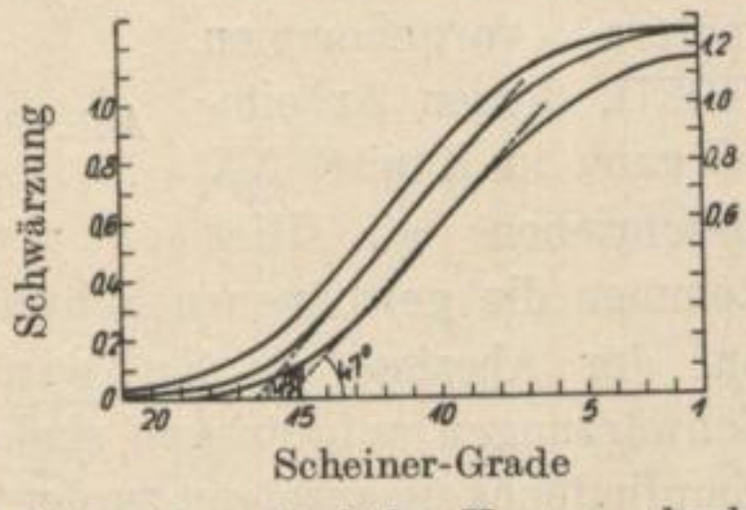


Abb. 43. Gaslicht-Karton, hochempfindlich für Vergrößerungen; matt, glatt, chamois. (Metol-Hydrochinon-Soda; 1, 2 u. 3 Min. entwickelt.)

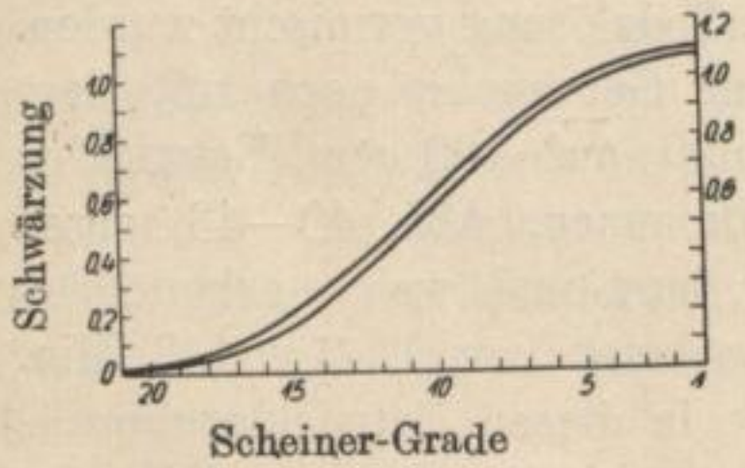


Abb. 44. Bromsilber-Karton für Bromöldruck; matt, glatt. (Metol-Hydrochinon-Soda 1 u. 2 Min. entwickelt. Die Kurven für 2 u. 3 Minuten fallen zusammen.)

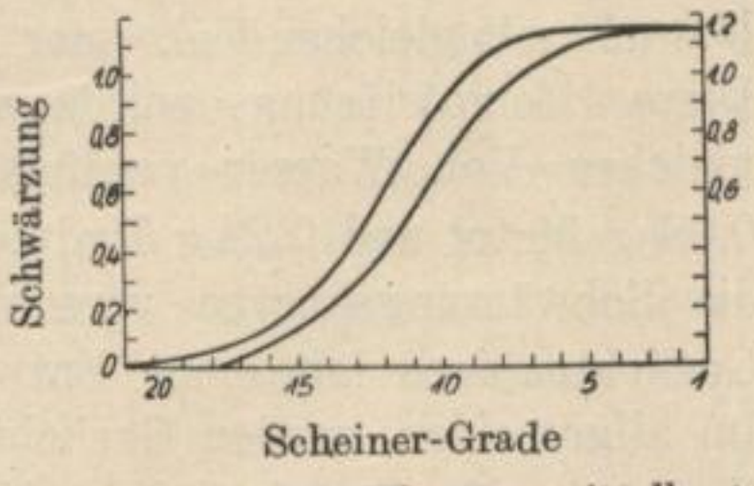


Abb. 45. Gaslicht-Karton, mittelhart, matt, glatt. (Metol-Hydrochinon-Soda 1 u. 2 Min. entwickelt; für 2 u. 3. Min. fallen die Kurven zusammen.)

Abb. 44 zeigt die Schwärzungskurve eines Bromsilberkartons für Bromöldruck. Bei diesem fallen die Schwärzungskurven für 2 und 3 Min. praktisch zusammen, ebenso bei jenem Gaslichtkarton, dessen Schwärzungskurve in der Abb. 45 dargestellt ist (Karl Kieser).

Zum besseren Verständnis sei erwähnt, daß die Fabrikation der „hart" und „weich" arbeitenden Gaslichtpapiere sich dadurch unterscheiden, daß reine Chlorsilbergelatine im Entwicklungsprozeß besonders steile Gradation gibt, also kontrastreiche Kopien liefert („hartarbeitend"); Zusatz von Jodsilber zur Chlorsilbergelatine steigert die Kontraste, während der Zusatz von Bromsilber weichere Kopien liefert. — Im allgemeinen erhöht der Zusatz von Bromid zur Chlorsilbergelatine die Empfindlichkeit (gemessen am Schwellenwert) und gibt weichere Kopien, und zwar um so mehr, je mehr das Bromsilber überwiegt. — Stets handelt es sich bei Kopierpapieren um sehr wenig gereifte feinkörnige Emulsionen sowohl von Chlorsilber als von Bromsilber.

Die reinen Bromsilberemulsionen dieser Type unterscheiden sich sensitometrisch wenig von Diapositivemulsion, jedoch besitzen letztere sehr viel dickere Schichten, was den Entwicklungsprozeß und die Grenze der erreichbaren Maximalschwärzung stark beeinflußt.

Entwicklungsdauer von Papieren im Zusammenhang mit der Gradation.

Die Entwicklungspapiere verlangen viel kürzere Entwicklungsdauer als Negativfilm, wie bereits aus Abb. 46 und 47 hervorgeht. Dies macht eine schematische Zeichnung anschaulich, welche Mees in

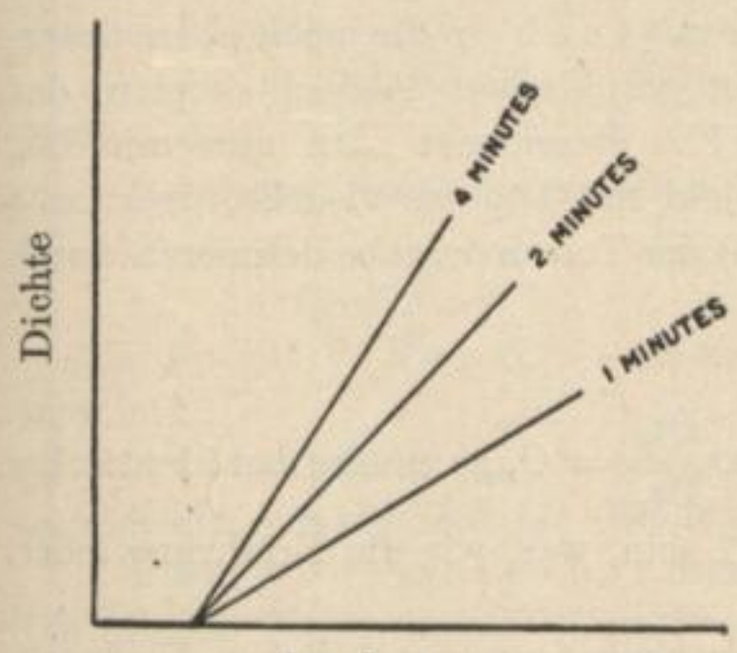


Abb. 46. Wachsen der Kontraste beim Entwickeln eines Negativfilms.

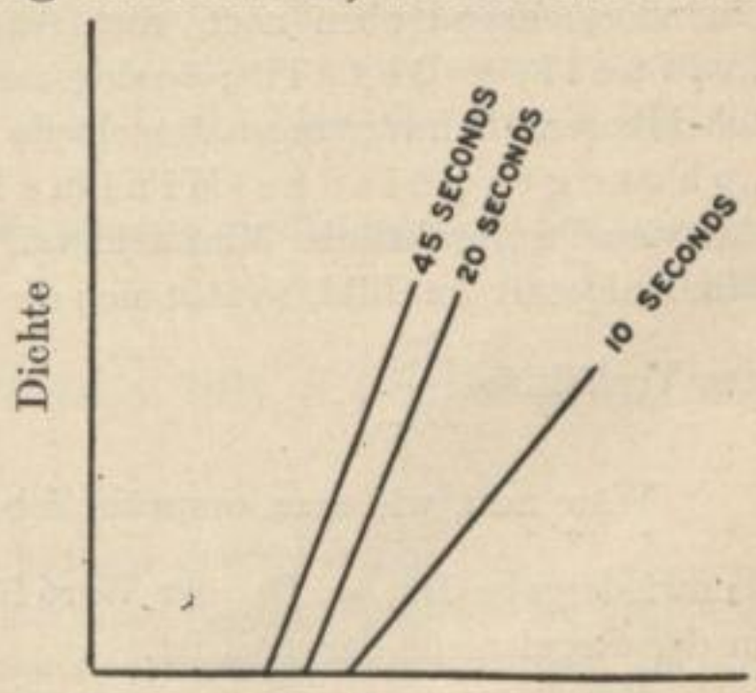


Abb. 47. Wachsen der Schwärzung beim Entwickeln von Velox-Papier (Gaslichtpapier).

seinem „The Fundamentals of Photography", Eastman Kodak Co., Rochester 1920, S. 77 gibt, die wir in Abb. 46 und 47 wiedergeben.

Hierzu sei bemerkt, daß das Kodak-„Velox"-Papier ein Chlorsilbergelatinepapier ist, dessen Erfindung auf Eder und Pizigelli zurückzuführen ist, sich sehr rasch entwickelt, wobei das Bild bei verlängerter Entwicklung bald stehen bleibt. Zufolge der Dünnheit der Schicht ist der optimale Kontrast von Velox-Gaslichtpapieren schon nach 20 Sekunden langer Entwicklung erreicht, während die dicken Schichten von Negativfilmen 4 Minuten und noch mehr zu ihrer Ausentwicklung verlangen.

Der Spielraum der photographischen Entwicklungs-Papiere.

Die derzeit gebräuchlichen Bromsilber- und Gaslichtpapiere besitzen, wie die vorhin abgebildeten Schwärzungskurven zeigen, nur einen geringen Spielraum der Belichtungszeit. Man darf die Belichtungszeit nicht in weiten Grenzen abändern, wenn man brauchbare Bilder erhalten will.

Immerhin kann man von einem Belichtungsspielraum auch bei photographischen Bromsilber- und Gaslichtpapieren sprechen.

F. Formstecher unterscheidet zwei Arten dieses „Spielraumes" („Die Photographie" 1925, S. 91 und 186) in nachstehender Weise:

Felix Formstecher untersuchte die sensitometrischen Grundbedingungen der Detailwiedergabe in Aufsichtstabellen mit Bezug auf die visuelle und photographische Helligkeitswiedergabe der Empfindungsschwelle (s. VI. Kapitel). Goldberg bezeichnete den Logarithmus des Verhältnisses zweier Helligkeiten, die aneinandergrenzend eben noch vom Auge unterschieden werden, mit dem Namen „visuelles Detail"; analog nennt Formstecher die noch eben unterscheidbaren Schwärzungsunterschiede in photographischen Aufsichtskopien das „photographische Minimaldetail". Bezeichnet man nun mit Dt_o das visuelle „praktische Minimaldetail" im Objekt, mit Dt_r das visuelle, praktische Minimaldetail im Bild, so läßt sich die Güte (G) der Tonwiedergabe definieren durch das Verhältnis $\frac{Dt_o}{Dt_r}$.

Wäre nun, wie man ursprünglich annahm, $\frac{Dt_o}{Dt_r} = G$, so müßte bei identischer Tonwiedergabe $Dt_o = Dt_r$ der Wert für $G = 1$ sein, was, wie die Erfahrung lehrt, in der Regel nicht der Fall ist.

Man kommt dagegen zu einem mit dem Experiment gut verträglichen Ausdruck, wenn wir setzen:

$$(1) \qquad \frac{Dt_o}{Dt_r} = K \cdot G, \text{ wo } G = \frac{Dt_r}{Dt_\varphi}.$$

Die hier auftretende Konstante K, die Felix Formstecher[1]) als Goldberg-Konstante bezeichnet, hängt ab:

1. von Eigenschaften der Emulsionsschicht (Korngröße und Kornstruktur des Silber- und evtl. des Farbstoffbildes);
2. von Eigenschaften der Unterlage (des Baryt- bzw. Rohpapiers), insbesondere von seinem Glanz.

Die hier gebrauchte Bezeichnung „Detailwiedergabe" im Sinne der Wiedergabe von Halbtönen im photographischen Bilde, darf nicht verwechselt werden mit dem ganz anderen Begriff des „Auflösungsvermögens photographischer Schichten", der später behandelt wird.

Im übrigen sei auf die grundlegenden Arbeiten von Loyd A. Jones (Abschnitt XII in diesem Kapitel) verwiesen.

Exakter und effektiver Spielraum der Exposition.

Der „exakte Spielraum" gibt an, um wieviel länger man belichten kann, um bei entsprechend geringerem Entwicklungsgrad ein Bild von genau gleicher Tonabstufung zu erhalten.

Der sog. „effektive Spielraum" gibt an, wieviel länger man belichten kann, um bei entsprechend geringerem Entwicklungsgrad eine noch praktisch brauchbare Kopie zu erhalten. Letzterer ist für die Praxis wichtiger als ersterer. Man kann z. B. bei manchen Emulsionspapieren die korrekte Exposition nicht nur um zwei- bis dreimal verlängern, sondern mit geänderter Entwicklung (nach Formstecher) etwa bis zum zwanzigfachen Betrag, ohne unbrauchbare Kopien zu erhalten.

Sensitometrische Beziehungen für die richtige Wiedergabe von Negativen und Positiven. Detailwiedergabe in Aufsichtsbildern.

Ein nach einem Negativ hergestelltes Diapositiv soll bei richtiger Wiedergabe der Gradation derartig decken, daß sie (gutpassend) übereinandergelegt eine gleichmäßig helle, mehr oder weniger graue Fläche bilden. Diese selbstverständliche Forderung wurde bereits von Eder in der ersten Auflage dieses „Handbuches" (II. Teil, 1885, S. 5) erhoben, und später von Hurter u. Driffield in ihrer Abhandlung „Beziehungen zwischen photographischen Negativen und ihren Positiven", (Eders Jahrbuch für Phot. 1893, S. 18) auf Grund ihrer Schwärzungskurven genauer begründet.

Porter und Slade, dann L. J. Jones[2]) drückten dies durch folgende Formel aus:

Bezeichnet man die Gradation des Negatives mit G_N, diejenige des Diapositives mit GP, so ist

$$G_N \cdot GP = 1,$$

welche Formel F. Formstecher (Phot. Korresp. 1921. S. 151) selbständig fand und mit

$$\text{Gamma}_{\text{Bild}} = \text{Gamma}_{\text{Negativ}} \times \text{Gamma}_{\text{Positiv}}$$

ausdrückte, aus der sich für $\text{Gamma}_{\text{Bild}} = 1$ obige Formel ergibt.

Felix Formstecher führte aus, daß diese Bedingungsgleichung nur dann für exakte Tonwiedergabe Gewähr leistet, wenn die Adaption des Auges bei der

---

1) F. Formstecher, „Die Detailwiedergabe im Aufsichtsbilde" (Zeitschrift f. angewandte Chemie, 1928, S. 1342).

2) Jones, Kodak Abridg. Scient. Publ. 1920. Bd. 4. S. 116.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Betrachtung des Objektes und der des Bildes die gleiche ist und die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges innerhalb beider Helligkeitsintervalle konstant ist.

In obigen Ausführungen ist vorausgesetzt, daß die photographische Unterschiedsempfindlichkeit der Schicht mindestens ebenso groß ist, wie die visuelle Unterschiedsempfindlichkeit des Auges. Nun ist es aber wahrscheinlich, daß die photographische Platte eine geringere Unterschiedsempfindlichkeit besitzt als unser Auge. Dies würde natürlich zur Folge haben, daß auch bei optimaler Beleuchtung die Bedingungsgleichung $\text{Gamma}_{\text{Bild}} > 1$ erfüllt sein muß, wenn die Tonabstufung naturgetreu sein soll. (Formstecher, Phot. Industrie 1927, S. 92.)

Messung des Lichteffektes auf Chromat-Gelatine (Pigmentpapier usw.)

Bekanntlich gibt das mit Kaliumbichromat sensibilisierte Pigmentpapier sowohl bei Diapositiven als auch bei Papierbildern eine sehr gute Gradation. — Sie ist abhängig von der Konzentration der Chromsalze, Dicke der Schicht, Gehalt an Pigment und der spektralen Zusammensetzung des wirkenden Lichtes. Die Dichte der Pigmentbilder ist proportional der Dicke der im Lichte unlöslich gewordenen Pigmentgelatineschicht oder mit anderen Worten deren Gewicht.

Schichten, die mit 5%iger Kaliumbichromatlösung sensibilisiert wurden, geben weichere Kopien (kleineres Gamma), während schwache Chrombäder (2—$^1/_2$% Kaliumbichromat) kontrastreichere Kopien mit größerem Gamma liefern, was der photographische Praktiker ausnützt. (Siehe Eder Pigmentverfahren, 4. Auflage 1926, IV. Bd., II. Teil dieses Handbuches.)

Elektrisches Bogenlicht gibt geringere Kontraste als Halbwattlampen, was mit der spektralen Empfindlichkeit der Chromatgelatine und der Lichtabsorption der Chromsalze im Ultraviolett zusammenhängt. Der Schwarzschildsche Exponent p kann durchschnittlich mit 0,80—0,85 bei schwärzlichem Pigmentpapier angenommen werden. — Der geradlinige Teil der Schwärzungskurve erstreckt sich bei steigender Exposition viel weiter nach aufwärts als bei Silberbildern, ohne daß ein Umbiegen der Kurve stattfinden würde, was der Grund der schönen detaillierten Durchzeichnung der Tiefen von Pigmentbildern ist.

Man kann im allgemeinen annehmen, daß der Kopierumfang für Pigmentpapier zirka 100 ist (vgl. Tabelle S. 92), daß man das Gamma nicht nur auf die Normalgröße = 1, sondern höher und tiefer leicht variieren kann. Über Beispiele der Schwärzungskurve s. Abb. 36, S. 96.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

A. C. Hardy und F. H. Perrin (Jour. Franklin Inst. vom 2. Febr. 1928; Science Ind. Phot. 1928, Nr. 5, S. 83) studierten die Sensitometrie der Chromat-Gelatine unter verschiedenen Bedingungen und stellten darnach charakteristische Kurven auf. Die längst bekannte Tatsache, daß konzentrierte Bichromatlösungen weicher arbeiten (kleineres Gamma, kleinerer Schwellenwert) als verdünnte, wird graphisch dargestellt; die Kurven schneiden sich in der Gegend der großen Dichten. Bekanntlich arbeiten lang aufbewahrte Bichromatschichten mehr und mehr schleierig; die Dichte der Schleier beträgt nach etwa 100 stündiger Aufbewahrung 0,7 und steigt bei sehr alten Bichromatschichten auf die Dichte 1,5. Es werden die Angaben Eders bestätigt, daß die Variationen der Empfindlichkeit in einer feuchten Atmosphäre größer sind als in einer trockenen. — Die Entwicklung der Chromat-Gelatine mit Wasser von verschiedener Temperatur zeigte, daß die Inertia in sehr heißem Wasser größer ist als in kühlerem bei gleichbleibendem Gamma. Die Verfasser arbeiten mit Eastmanschen Diapositiv-Platten, die sie samt der in ihnen enthaltenen Silberhaloide in den Chrombädern sensibilisierten, trockneten, in Sensitometern belichteten, mit warmem Wasser entwickelten, dann das Silberhaloid mit Fixiernatron entfernten, wuschen und trockneten. Durch Tränken mit Teerfarbstoffen (d'Ecarlate acide 2 R Newport) machten sie die verschiedene Dicke der Gelatineschichten ersichtlich. (Die verwendeten Platten besaßen sehr dünne Gelatineschichten; die Resultate sind also nicht für die dicken Schichten der gebräuchlichen Pigmentpapiere vergleichbar, die in den Regionen der stärkeren Dichten eine weit günstigere Verlängerung des geraden Teiles der charakteristischen Kurve ergeben [Eder].)

Die spektrale Lichtempfindlichkeit der Chromate mit organischen Substanzen, insbesondere der Chromatgelatine studierte Eder bei Sonnenlicht. Das Maximum der Wirkung liegt bei der Wellenlänge 460 $\mu\mu$ und der Streifen der dominierenden Empfindlichkeit erstreckt sich von 470 bis 430 $\mu\mu$. Die Wirkung verläuft schwach bis 380 ins Ultraviolett, bei Verwendung von Quecksilber-Quarzlicht aber bis 300 $\mu\mu$. Bei verlängerter Belichtung erstreckt sich die Wirkung bis ins Grün. Es liegt also die effektive Empfindlichkeit hauptsächlich im Blau nächst der Fraunhoferschen Linie F (gegen G). Nach J. Plotnikow und N. Karschulin soll eine Schicht von Bichromatkollodium, sowie eine Mischung von Bichromat mit Cresylblau im elektrischen Bogenlichte mit Goerz-Beck-Kohlen die Maximalwirkung in hellem Gelbgrün zeigen, was ein Sonderfall zu sein scheint, der auf dem hohen Gehalt des Bogenlichtes an Helligkeit in Grün zufolge der verkupferten Kohlen zurückzuführen sein dürfte, wie Eder („Zeitschrift für Physik" 1926, S. 235) ausführte. Für die Praxis der Photographie mit Chromatgelatine, Chromatgummi, Chromateiweiß sind obige Angaben Eders über die Spektralempfindlichkeit bei Sonnenlicht maßgebend.

Über die Sensibilisierung von Chromatgelatine für Orange und Rot durch Farbstoffzusatz s. G. O. 't Hooft, Zeitschr. f. wiss.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Phot. 1928. Bd. 25. S. 394. — Über sensibilisierende Wirkung von Auramin und Erythrosin s. dieses Handbuch IV. 2. Vierte Aufl. S. 39.

In der Praxis der Photographie mit Chromsalzen spielt weder das Gelbgrün noch das äußere Ultraviolett eine Rolle, während im Gegensatz dazu für Chlorsilber das Violett und Ultraviolett ausschlaggebend sind. Es ist ferner bekannt, daß konzentriertere Bichromatschichten eine starke Schirmwirkung im Ultraviolett aufweisen, weshalb in diesen Bezirken die Chromatgelatine nur schwächliche Oberflächenbilder gibt; man liebt deshalb auch nicht das Quecksilberlicht zum Kopieren von Lichtdruckplatten usw. Im gelbgrünen Licht kann man überhaupt keine praktischen Kopiererfolge auf Chromatgelatine erzielen (Eder).

Beim Gummidruck, Öldruck, Bromöldruck, Lichtdruck und anderen photomechanischen Verfahren werden die Gradationen der Bilder nicht nur durch den Effekt des Lichtes bedingt, sondern im höchsten Grade durch die damit verbundenen mechanischen Prozeduren, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen werden kann, sondern auf den Band IV dieses Werkes verwiesen werden muß. —

Dasselbe gilt von den sogenannten Beizfarbenbildern, der Kodachromie, dem Koppmannverfahren mit Gerbungsbildern auf Bromsilbergelatine, der Pinatypie usw., die in diesem Handbuche im Bande „Pigmentverfahren“ beschrieben sind.

Die Gradation im Carbro-Prozeß studierte Charles Lighton (Phot. Journ. 1927, Bd. 67, S. 362 und 409).

XII. Der Bild-Kontrast bei photographischen Kopierpapieren.

Der Kontrast in den photographischen Kopierpapieren ist für die angewandte Photographie von großer Bedeutung, größer als die Empfindlichkeit.

Eingehende Untersuchungen über den Bildkontrast photographischer Kopierpapiere verdanken wir Loyd A. Jones (Journ. Franklin Instit. 1926, Bd. 202, S. 177 und Bd. 203, S. 111; Mitteilung Nr. 264 aus dem Forschungs-Laboratorium der Eastman Kodak-Company) [1]), welche wir im Auszuge im Nachstehenden auszugsweise wiedergeben:

Man kann ein Kopierpapier bez. dessen Verwendbarkeit für gewisse Zwecke viel besser durch die Angabe seines „Kontrastes“ als durch die Bestimmung seiner Empfindlichkeit charakterisieren. Da

---

1) Eine Zusammenstellung seiner Untersuchungen gab Loyd A. Jones gelegentlich des VII. Internationalen Photographischen Kongresses in London 1928 (Nr. 264 der Kodak-Mitteilungen).

der Begriff „Kontrast", angewendet auf Kopierpapiere, bisher nicht einwandfrei definiert war, erschien es wünschenswert, eine Methode ausfindig zu machen, nach welcher der Kontrast auf Grund sensitometrischer Daten ausgedrückt werden kann.

1. Grundlegende Begriffe und psychophysikalische Gesetze.

Der Begriff „Kontrast" drängt sich auf, wenn man Dinge einander gegenüberstellt, die in bestimmten Belangen ähnlich, dennoch aber verschieden sind; dabei werden die bestehenden Verschiedenheiten durch Verhältniszahlen zum Ausdruck gebracht.

Die subjektive (visuelle) Unterscheidung der verschiedenen Netzhauteindrücke beruht in erster Linie auf der Empfindung der Farbenkonstanten (Farbton, Sättigung, Helligkeit); die subjektive Wahrnehmung ist also zuvörderst von der Fähigkeit abhängig, Verschiedenheiten der genannten drei Farbkonstanten, also Helligkeits-, Ton- und Sättigungskontraste zu erkennen.

In der normalen Schwarz-Weiß-Photographie, in welcher Farbenverschiedenheiten sowohl im Negativ als auch im Positiv durch Helligkeitsverschiedenheiten zum Ausdruck gebracht werden, haben wir uns lediglich mit den Helligkeitsverschiedenheiten zu befassen.

Helligkeit ist „die Eigenschaft einer Farbe, auf Grund welcher sie als Glied einer Grauskala (zwischen schwarz und weiß) eingeordnet werden kann". Unter Helligkeit verstehen wir also eine subjektive Empfindung, die durch den Reiz einer objektiv vorhandenen Beleuchtung (eines Lichtes) ausgelöst wird. Das Weber-Fechnersche Gesetz, demzufolge die Empfindung zum Logarithmus des Reizes proportional ist, gilt für einen Bereich mittelstarker Reize.

2. Der Kontrast in einem aus zwei Teilen bestehenden Objektsfeld.

Liegt uns ein Objektfeld vor, das nur in zwei Teile zerfällt, so läßt sich der Kontrast zwischen diesen Teilen auf Grund des Weber-Fechnerschen Gesetzes folgendermaßen ausdrücken: Der objektive Helligkeitskontrast (Kontrast der Flächenhellen) $= \frac{e_1}{e_2}$, der subjektive Helligkeitskontrast $= \log \frac{e_1}{e_2} = \log e_1 - \log e_2$.

3. Der objektive Kontrast in einem aus vielen Teilen bestehenden Objektsfeld.

Obige Feststellung bezog sich auf den Kontrast zwischen zwei Flächenteilen mit verschiedener Flächenhelle [1]); sowie wir auf kompliziertere Gebilde übergehen, stellen sich zahlreiche Schwierigkeiten ein.

Im allgemeinen wird das Verhältnis der maximalen zur minimalen Flächenhelle den Kontrast, welcher an einem Ding objektiv besteht, zum Ausdruck bringen.

4. Der subjektive Kontrast in einem aus vielen Teilen bestehenden Objektsfeld.

Sobald wir dieses Problem ausführlich analysieren, zeigt sich, daß man hier nicht genau so verfahren darf wie in 3. Das Wort „Kontrast", angewendet auf Negative und Positive (Kopien), kennzeichnet eine subjektive Empfindung des Beobachters; deshalb gehen wir in erster Linie darauf aus, den subjektiven Kontrast (den also der Beobachter empfindet) auszudrücken. Mit Rücksicht auf diese Absicht haben wir uns entschlossen, den Kontrast durch den Logarithmus des Verhältnisses der Helligkeiten, nicht aber durch dieses Verhältnis selbst zum Ausdruck zu bringen. Sobald wir also ein Objektsfeld vor uns haben, in welchem Partien mit den verschiedensten Helligkeiten vorzufinden sind, so wollen wir die intensivste Flächenhelle mit $e_{o\ max}$ die geringste Flächenhelle mit $e_{o\ min}$ bezeichnen und den subjektiven Kontrast in diesem Feld in folgender Art aus dem objektiven Kontrast ableiten:

$$\text{Subj. Kontrast} = \log \frac{e_o\ max}{e_o\ min} = \log\ e_o\ max - \log\ e_o\ min.$$

Wenn uns ein abwechslungsreiches Objekt vorliegt, an dem alle möglichen Helligkeiten vorkommen, so hängt der Kontrast noch von einem weiteren Faktor ab. Nehmen wir einmal an, zwei Objekte hätten ganz genau dieselbe Maximal- bzw. Minimalhelligkeit, so wäre unserer früheren Annahme gemäß der Kontrast für beide Objekte durch $\log e_{o\ max} - \log e_{o\ min}$ auszudrücken, auf Grund der gemachten Voraussetzungen somit in beiden Fällen gleich. Nun ist folgendes möglich: bei einem Objekt vollzieht sich der Übergang von der geringsten zur höchsten Helligkeit in ganz wenigen relativ großen Stufen; bei einem anderen Objekt erfolgt der Übergang ganz langsam in zahlreichen kleinen Stufen. Jene Objekte, bei denen der stufenweise Übergang zwischen den extremen Helligkeiten rapid

---

1) Flächenhelle im Sinne der amerikanischen Definition (1915). Vgl. A. Berliner und K. Scheel, Physikalisches Handwörterbuch, Berlin, 1927.

vor sich geht, weisen zweifellos einen großen Kontrast auf, wogegen Objekte, bei denen sich der erwähnte Übergang langsam vollzieht, einen geringen (schwachen) Kontrast zeigen. Diesen Faktor des Kontrastes bezeichnen wir als seinen „Gradienten“ oder seine „Steigung“; er soll durch den Differentialquotienten des Logarithmus der Objekthelligkeit ausgedrückt werden, wobei die Differentiation nach dem Abstand s der Helligkeitsstufen erfolgt (der Abstand s kann etwa in Werten des Gesichtsfeldwinkels ausgedrückt werden); den anderen Faktor des Kontrastes wollen wir als Bereichspielraum oder Niveaudifferenz bezeichnen.

Der subjektiv empfundene Kontrast ist also eine Funktion zweier unabhängiger Veränderlicher: des Kontrastgradienten und des Kontrastbereiches. Man kann die visuelle Empfindung des Kontrastes mit der Empfindung für die Muskelanstrengung vergleichen, welche beim Ersteigen eines Hügels aufgewendet wird. Die Anstrengung bei der Ersteigung ist einerseits zur Steigung und andererseits zur Höhe des Hügels proportional, über die das Gewicht des Körpers gehoben wurde. Während die aufgewendete Arbeit nur von der Masse des Körpers und der Höhe abhängig ist, über welche die Masse emporgehoben wurde, ist die Muskelanstrengung von der Neigung des Hügels abhängig. Man kann somit sagen, der Kontrast erfordere für seine Wahrnehmung gewissermaßen eine bestimmte visuelle Leistung; diese Leistung ist zur Intensität des Reizes und zur Verteilung der durch die Reize hervorgerufenen psychochemischen Reaktionen auf der Netzhaut proportional.

Die bestehenden Beziehungen können folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$\text{Kontrast} = F\ (\text{Gradient, Bereich}),$$
$$\text{Bereich} = F_1\ (\log e\,max - \log e\,min)$$
$$\text{Gradient} = F_2\left(\frac{d\log e}{ds}\right)$$

5. Wie kommt der Kontrast auf den photographischen Materialien zum Ausdruck?

Wir wollen festhalten, daß wir uns vorläufig mit lichtempfindlichen Materialien im allgemeinen befassen, ohne im besonderen auf negative oder positive Bilder einzugehen. Abb. 48 zeigt drei typische charakteristische Dichte-Log. d. Exposition-Kurven. Die Dichte D des Silberniederschlags wird als Logarithmus des reziproken Wertes

der Durchlässigkeit (Transmissionsfähigkeit) T des Silberniederschlags definiert. Bei Silberniederschlägen auf undurchsichtigen (opaken), reflektierenden Unterlagen definiert man die Dichte D als den Logarithmus des reziproken Wertes des Reflexionsvermögens $D = \log \frac{1}{R}$

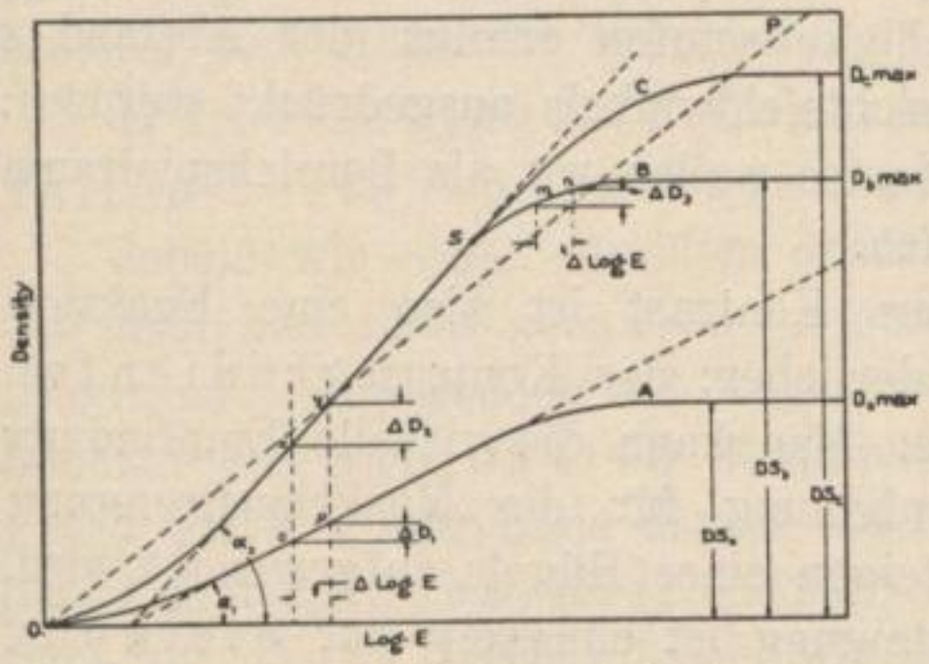


Abb. 48. Typische charakteristische Kurven.

Betrachten wir ein Negativ oder eine Kopie bei gleichmäßiger Beleuchtung, so können wir ihre Helligkeit durch die Dichte des Silberniederschlags ausdrücken. Ihre Helligkeit ist direkt proportional zur Transmissions- bzw. Reflexionsfähigkeit der einzelnen Flächenteile des Negativs bzw. Positivs; da die Dichte eine logarithmische Funktion der Durchlässigkeit ist, so ist sie auch eine logarithmische Funktion der Flächenhelle. Wenn wir den Helligkeitskontrast zweier Flächenteile des Negativs oder Positivs angeben wollen, so brauchen wir lediglich den Dichtenunterschied $D_2 - D_1$, der mit dem Ausdruck $\log e_1 - \log e_2$ gleichbedeutend ist, zu bestimmen; damit haben wir den Helligkeitskontrast durch die Flächenhelle zum Ausdruck gebracht.

Die Betrachtung der Abb. 48 lehrt folgendes: In der Kurve B entspricht das Stück xy einer Dichtendifferenz $\triangle D_2$ während die gleichgroße Strecke op in der Kurve A einer Dichtendifferenz $\triangle D_1$ entspricht. Die Brüche (Verhältnisse) $\frac{\triangle D_2}{\triangle \log E}$ und $\frac{\triangle D_1}{\triangle \log E}$ veranschaulichen den Grad der Dichtenänderung mit der Belichtung E; beim Übergang auf unendlich kleine Größen repräsentieren die Differentialquotienten $\frac{d\ D_1}{d\ log\ E}$ bzw. $\frac{d\ D_2}{d\ log\ E}$ den Grad der Dichtenänderung an einzelnen Punkten der charakteristischen Kurve. Die gleiche Belichtungsdifferenz $\triangle \log E$, entspricht an der Stelle mn beim lichtempfindlichen Material B einer Dichtendifferenz $\triangle D_3$, welche kleiner ist als die Dichtendifferenz $\triangle D_2$. Der Wert von $\frac{d\ D_3}{d\ log\ E}$ ist an dieser Stelle (mn) der Kurve B kleiner als an der Stelle x y, das lichtempfindliche Material hat hier

eine geringere Fähigkeit, Belichtungsverschiedenheiten wiederzugeben als an der Stelle $x\,y$.

Kontrast, angewendet auf lichtempfindliche Materialien, ist somit die Fähigkeit dieser Materialien, Belichtungs v e r s c h i e d e n h e i t e n zum Ausdruck bringen zu können.

Die Kurve C in Abb. 48 ist die charakteristische Kurve eines dritten lichtempfindlichen Materials und hat den gleichen mittleren Wert für $\frac{d\,D}{d\,log\,E}$ wie die Kurve B; in der Tat fallen die Kurven C und B bis zum Punkt s zusammen. Mit Rücksicht darauf, daß die Differentialquotienten $\frac{d\,D}{d\ log\,E}$ gleich sind, wären die beiden Materialien B und C als identisch anzusehen. Nun hat das Material C einen größeren Wert der m a x i m a l e n Dichte $D_c\ max$ und einen größeren Dichte(Schwärzungs-)bereich DS_c als die beiden Materialien A und B (s. Abb. 48). Auf dem Material C können Negative mit größerem Kontrast erzielt werden als auf dem Material B, sobald der Helligkeitskontrast im wiederzugebenden Objekt gleich oder sogar größer ist als der Belichtungsbereich des Materials C. Ist der Helligkeitskontrast im wiederzugebenden Objekt hinlänglich klein, so lassen sich auf den Materialien B und C i d e n t i s c h e Negative herstellen, womit aber keinesfalls die Behauptung widerrufen erscheint, daß das Material C eine größere Wiedergabefähigkeit für Kontraste besitzt als das Material B. Diese Tatsachen beweisen, wie notwendig es ist, den Kontrast im aufzunehmenden Objekt und im Positiv bzw. Negativ zu unterscheiden.

Der Kontrast, auf lichtempfindliche Materialien angewendet, ist von zwei Faktoren abhängig: 1. von seinem Gradienten (seiner Steigung), 2. von seinem Bereich (seiner Ausdehnung); der erstgenannte Faktor hängt von dem Differentialquotienten $\frac{d\,D}{d\,log\,E}$ ab, der zweite von dem Schwärzungs(Dichte)-Bereich, welcher zur Verfügung steht bzw. angewendet wird.

Der Kontrast, bezogen auf lichtempfindliche Materialien, kann durch folgende Beziehungen ausgedrückt werden:

der Kontrast $= f$ (Gradient, Bereich),

die Steigung (der Gradient) $= f_1 \left(\frac{d\,D}{d\ log\,E}\right)$

der Bereich $= f_2\ (D\ max - D\ min)$

Die Ermittelung der einzelnen Faktoren erfolgt, indem der Wert

$\triangle D$, d. i. die kleinste gerade noch wahrnehmbare Helligkeits(Dichte)-Differenz eingeführt wird. Verbleiben wir in jenem Gebiet der Helligkeiten, für welches das Weber-Fechnersche Gesetz gilt, so ist $\triangle D$ eine Konstante und wir können schreiben:

$$\text{Ausdehnung (Bereich) des Kontrastes} = \varepsilon = c_1 (D\,max - Dmin)$$

$$\text{Anstieg (Gradient) des Kontrastes} = \tau = c_2 \frac{d\,D}{d\,log\,E}.$$

Die Werte der Konstanten c_1 und c_2 sind von der absoluten Größe von $\triangle D$ abhängig.

$$\text{Kontrast} = \Omega = c_3 (\varepsilon \cdot \tau),$$

worin c_3 eine Konstante bedeutet, die von c_1 und c_2 sowie von $\triangle D$, der kleinsten wahrnehmbaren Helligkeitsdifferenz, abhängig ist.

6. Die Grundlagen der sensitometrischen Meßmethode.

Die Eigenschaften eines photographischen (lichtempfindlichen) Materials lassen sich durch sensitometrischeMessungen[1]) ermitteln. Für das Studium des Kontrastproblems und des Problems der Helligkeitswiedergabe empfiehlt sich eine genaue Analyse der charakteristischen Kurven der lichtempfindlichen Materialien. Abb. 49 zeigt die charakteristische Kurve eines typischen Entwicklungspapiers mittleren Kontrastes. Die Punkte *a* und *b* liegen dort, wo der Gradient $\frac{d\,D}{d\,log\,E}$ (die Tangente) gleich $0 \cdot 2$ ist; die Punkte *c* und *d* befinden sich dort, wo der Geradelinienteil anfängt bzw. aufhört. Wir nehmen an, dem Punkte *a* entspricht die Belichtung *E* und die Dichte *D*, und versehen demzufolge die Buchstaben *E* bzw. *D* mit dem Index *a*. Aus den Koordinaten der Punkte *a*, *b*, *c*, *d* lassen sich die gesuchten numerischen Werte zur Lösung des Kontrastproblems sowie des Problems der Helligkeitsreproduktion er-

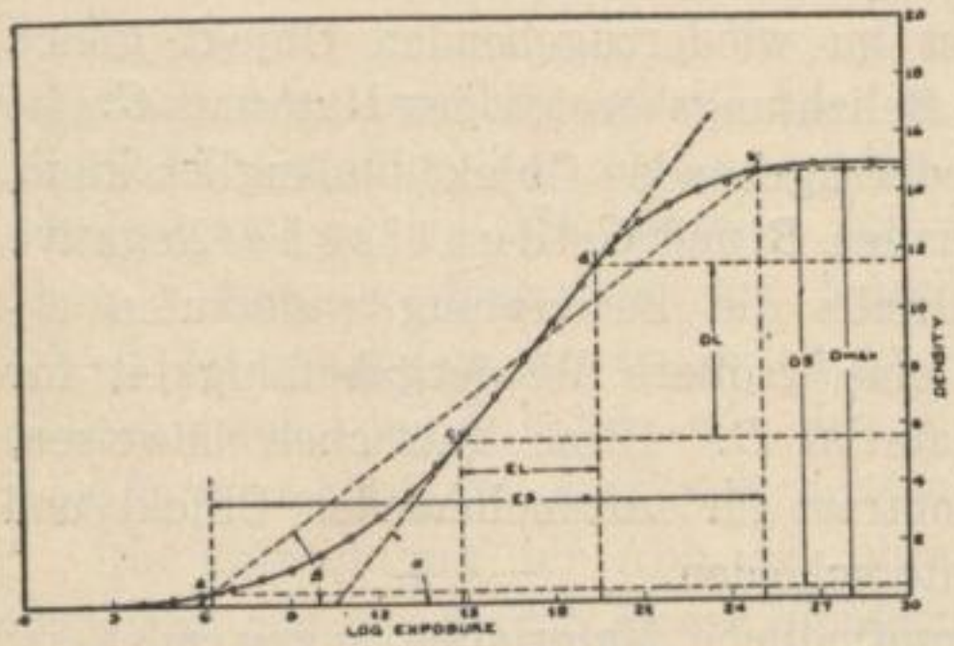


Abb. 49. Charakteristische Kurve eines typischen Entwicklungs-(Gaslicht-)Papiers.

1) Siehe L. A. Jones, C. E. K. Mees und P. J. Nutting, Mitt. Nr. 21 des wissenschaftlichen Laboratoriums der Eastman-Kodak Co.

mitteln, allerdings mit Ausnahme des Wertes von D_{ymax}, der maximalen Dichte (Schwärzung) des Positivs, der aus der Kurve abgelesen werden muß. Die gesuchten Werte sind folgende[1]):

$D\,S_\gamma$ d. i. der Dichten-(Schwärzungs-)Bereich $= D_b - D_a$
$D\,L_\gamma$ d. i. der Dichten-(Schwärzungs-)Spielraum $= D_d - D_c$
$E\,S_\gamma$ d. i. der Belichtungsbereich $= log\ E_b - log\ E_a$
$E\,L_\gamma$ d. i. der Belichtungsspielraum $= log\ E_d - log\ E_c$

$$\gamma\,\gamma = \text{Gamma} = \frac{D\,L_\gamma}{E\,L_\gamma} = \text{dem maximalen Gradienten,}$$

$$\Phi\,\gamma = \frac{D\,S_\gamma}{E\,S_\gamma} = \text{dem mittleren Gradienten zwischen den Punkten}$$

a und *b*. Dabei ist D_{ymax} die maximale Dichte (Schwärzung).

Es wurde angenommen, daß diejenigen Punkte der charakteristischen Kurve, in denen der Gradient den Wert 0.2 hat, den brauchbaren Belichtungsbereich abgrenzen. Diese Annahme ist nicht unter allen Umständen zulässig; aus diesem Grund wird es vielfach notwendig sein, den Wert des Gradienten an den Grenzen des brauchbaren Bereiches der charakteristischen Kurve speziell zu ermitteln. Die Bestimmung des Kontrastes stützt sich auf die charakteristischen Eigenschaften des brauchbaren Teiles der charakteristischen Kurve.

Obige Annahme trifft bei einem Positivmaterial, wie z. B. einem Entwicklungspapier im allgemeinen nicht zu. Um die bestmögliche Annäherung an eine ideale Wiedergabe des Objektes zu erzielen, wird der Großteil des Dichten(Schwärzungs-)bereiches ausgenutzt werden müssen. Bei solchen Materialien ist die Bestimmung des tatsächlichen Mittelwertes von $\frac{d\,D}{d\ log\ E}$ für den größten Teil der charakteristischen Kurve (einschließlich des Geradlinienteils und derjenigen Partie, in welcher der Gradient variiert) unerläßlich. Der ermittelte effektive Mittelwert des Gradienten ändert sich, sobald man verschiedene Partien der charakteristischen Kurve untersucht. Der brauchbare Teil der charakteristischen Kurve des Positivmaterials ist immer festzulegen, bevor man daran geht, den Kontrast in einem besonderen Falle festzustellen.

In der früher zitierten Publikation über die hier behandelte Materie wurden jene Punkte auf der charakteristischen Kurve als

---

1) Durch den Index *y* deuten wir an, daß sich die angegebenen Gleichungen auf das Positivmaterial beziehen.

Grenzpunkte des brauchbaren Expositionsbereiches ausgewählt, in denen $\frac{d\,D}{d\,log\,E} = 0{\cdot}2$. Das Vertrautsein mit den Bedingungen, welche notwendig sind, damit eine befriedigende Wiedergabe des Objekthelligkeitsbereiches eS_0 erzielt werde, macht es begreiflich, daß nur unter ganz bestimmten Umständen, d. h. bei ganz bestimmten Helligkeitsverhältnissen im Objekt und bei einem bestimmten γ_n des Negativs die genannten Punkte die Grenzen des brauchbaren S_n Belichtungsbereiches repräsentieren. Der Wert des Gradienten des Positivmaterials an diesen Grenzstellen des brauchbaren Bereiches ändert sich unter verschiedenen Umständen; hat man den Kontrast eines Positivmaterials, das zur Wiedergabe irgendeiner Objekthelligkeitsskala zur Verfügung steht, zu ermitteln, so ist zunächst der verwendbare Teil der charakteristischen Kurve des Positivmaterials festzulegen.

7. Die Grundlagen der statistischen Methode.

Da man den Gradienten eines Negativmaterials innerhalb ziemlich weiter Grenzen durch die Wahl der Entwicklungszeit beeinflussen kann, so läßt sich c. p. eine ganze Reihe von Negativen ein und desselben Objekts erzielen, deren Schwärzungsbereich variiert (dabei wird ein und dasselbe lichtempfindliche Material verwendet). Da der Helligkeitsbereich eines Durchschnittsobjekts zur Gänze auf dem Geradelinienteil der charakteristischen Kurve eines Negativs wiedergegeben werden kann, so ist der Gradient jedes Negativs konstant und läßt sich durch den numerischen Wert von γ_n zum Ausdruck bringen. Aus Untersuchungen über die richtige Ton(Helligkeits)-Wiedergabe wissen wir, daß der Schwärzungsbereich des Negativs DS_n dem Expositionsbereich des Positivs ES_p gleich sein muß. Bei einer ganzen Serie von Negativen ein und desselben Objekts, dessen eS_o konstant bleibt, ist die Änderung des Dichtebereiches der Negative direkt proportional zum Gamma (γ_n) der Negative.

Will man von allen Negativen befriedigende Kopien erzielen, so muß man Papiere mit verschiedenem charakteristischem Kontrast verwenden. Das Negativ, welches die beste Kopie auf irgendeinem Kopierpapier liefert, wird durch den Versuch ermittelt. Kennen wir den Schwärzungsbereich dieses Negativs, so können wir auch jenen Teil der charakteristischen Kurve des Papiers feststellen, der für die Wiedergabe des Objektes brauchbar ist; ebenso können wir für jedes

Kopierpapier den mittleren effektiven Gradienten des verwendeten Teil seiner charakteristischen Kurve sowie seine Kontrastwerte ermitteln.

Dasjenige Negativ, welches sich für eine gewählte Papiersorte am besten eignet, wird sensitometrisch untersucht; sein Schwärzungs-(Dichte)-Bereich und sein γ werden bestimmt. Dieses Negativ wird unter den anderen folgendermaßen ausgewählt: man kopiert eine

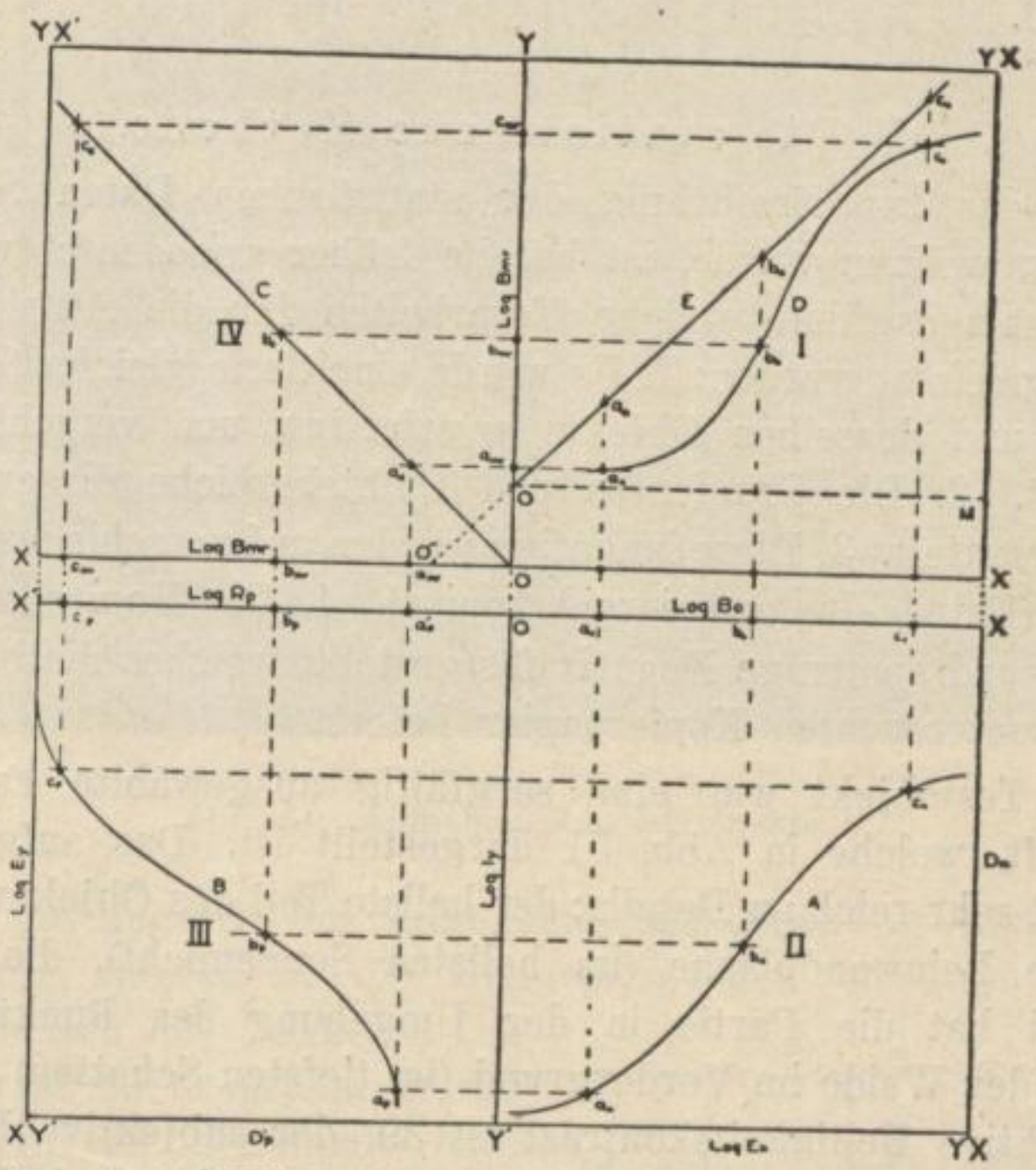


Abb. 50. Zur Theorie der Helligkeitswiedergabe (vgl. Journ. of the Franklin Inst. 1920).

Reihe von Negativen, welche sich voneinander dadurch unterscheiden, daß sie verschieden lang entwickelt wurden (kleine Unterschiede der Entwicklungszeiten!), und wählt diejenige Kopie aus, welche qualitativ die beste ist.

Die Auswahl der besten Kopie ist eine individuelle Angelegenheit. Sobald man eine repräsentative Kopie finden will, bedarf man des Urteils zahlreicher Personen; aus diesen Urteilen bildet man ein Mittel. Da dieser Mittelwert sich aus zahlreichen individuellen Urteilen ergibt, so ist die zu seiner Bestimmung führende Methode als statistische Methode zu bezeichnen.

8. Die Theorie der Helligkeitswiedergabe.

Das Problem des Kontrastes ist eigentlich ein Sonderproblem der Helligkeits-Wiedergabe. Für die Feststellung der Wechselbeziehungen zwischen den statistischen und sensitometrischen Ergebnissen ist es nützlich, auf Beziehungen zurückzugreifen, welche bei der Behandlung des Problems der Helligkeitswiedergabe ermittelt wurden. Siehe Abb. 50 und vergleiche hierzu Journ. of the Franklin Inst. 1920.

9. Die statistische Methode.

Wie das zur Ermittlung der statistischen Daten notwendige Material gewonnen wurde, ist bereits früher angedeutet worden; es sei nochmals erwähnt, welche Vorarbeiten für die Aufstellung der Statistik geleistet wurden: 1. Es wurde eine Serie gleichartiger Negative ein- und desselben Objekts angefertigt, und verschieden lang entwickelt. 2. Die Gradienten und Dichtebereiche dieser Negative wurden ermittelt. 3. Diese Negative wurden auf verschiedenen Kopierpapieren (Entwicklungspapieren) kopiert. 4. Die Kopien wurden begutachtet und dasjenige Negativ festgestellt, welches die beste Kopie auf dem untersuchten Kopierpapier liefert.

Das Testobjekt war eine sorgfältig ausgewählte Partie einer Landschaft, welche in Abb. 51 dargestellt ist. Das aufgenommene Objekt ist sehr reich an Details; der hellste Teil des Objekts ist Nr. 14, d. i. eine Leinwandplache (im hellsten Sonnenlicht), die geringste Helligkeit hat die Partie in der Umgebung des Punktes 1, des Stammes der Weide im Vordergrund (im tiefsten Schatten) des Bildes. Der objektive Helligkeitskontrast ist 39, der subjektive Helligkeitskontrast ist gleich dem Logarithmus dieser Zahl, d. i. 1,59. (Die maximale Flächenhelle beträgt 2500 Millilamberts, die minimale Flächenhelle 64 Millilamberts [1 Lambert ist die Flächenhelle einer vollkommen diffus leuchtenden Fläche, welche im ganzen 1 Lumen/cm² ausstrahlt].)

Die Aufnahmen des Objekts erfolgten auf panchromatischen Platten; es wurden zwölf Platten r a s c h nacheinander exponiert; auf den raschen Plattenwechsel wurde deshalb Wert gelegt, damit sich die Beleuchtungsverhältnisse während dieses Wechsels nicht ändern. Die Platten wurden verschieden lang entwickelt; die Entwicklungszeit war so abgestimmt, daß Negative mit aufsteigenden Gammawerten erzielt wurden. Zugleich mit jedem Negativ wurde ein Sensitometerstreifen

entwickelt, auf Grund dessen die charakteristischen Kurven der Negative ermittelt wurden. Solche charakteristische Kurven sind in Abb. 52 dargestellt.

Abb. 51. Aufnahme des Testobjekts.

Auch die Negative des aufgenommenen Objekts wurden in einem Sensitometer untersucht, die Dichtemessungen erfolgten an markanten Punkten der Negative. Um den Kontrast zu ermitteln, wurde insbesondere die Maximal- bzw. Minimaldichte (Punkt 14 bzw. 1 des Textobjekts) im Negativ mehrfach bestimmt und ihr wahrscheinlichster Wert mit Hilfe graphischer Methoden ermittelt. Da die Entwicklung mit Hilfe eines Pyrogallolentwicklers erfolgte, nahm der Silberniederschlag eine leicht gelbliche Färbung an. Kopiert man die Negative auf Entwicklungspapier, das in erster Linie für blaues Licht empfindlich ist, so schließt man auf Grund der Kopien auf größere Dichtewerte,

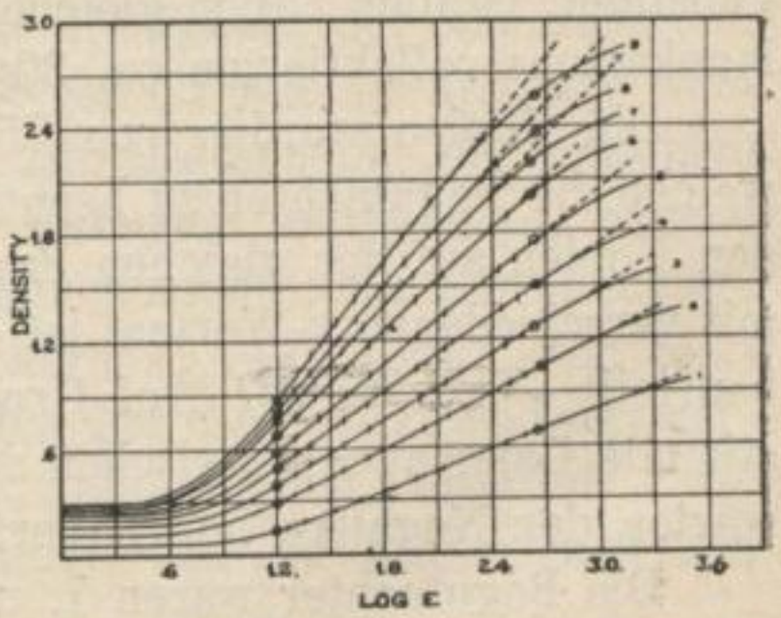


Abb. 52. Charakteristische Kurven verschieden lange entwickelter Negative.

als bei der visuellen Untersuchung ermittelt werden. In Abb. 52 bezeichnen die kleinen Kreise auf den charakteristischen Kurven die minimalen bzw. maximalen Dichten des verwendeten Teiles dieser Kurven.

Mit Hilfe der gleichzeitig mit den Bildnegativen hergestellten und entwickelten Sensitometerstreifen wurde der Farbenkoeffizient X der einzelnen Papiersorten bestimmt, indem die Sensitometerstreifen auf den Papieren kopiert wurden. Obwohl einzelne Entwicklungspapiere bezüglich ihrer spektralen Empfindlichkeit Verschiedenheiten aufweisen, waren die meisten ermittelten Farbenkoeffizienten doch so wenig voneinander verschieden, daß man für alle Papiere den gleichen Wert des Farbenkoeffizienten annehmen konnte. Der gemittelte Wert betrug 1,22 (der Farbenkoeffizient X wird aus den Dichtemessungen an den Negativen und Positiven abgeleitet). Der Farbenkoeffizient wurde dazu benutzt, die photographisch ermittelten Schwärzungswerte in visuelle Schwärzungswerte umzuwandeln. Der Farbenkoeffizient X wurde auch aus den Negativen und Kopien des Testobjektes bestimmt. Der gefundene Wert betrug wieder 1,22.

Die Versuche wurden an 37 verschiedenen von der Eastman Kodak Co. erzeugten Papieren angestellt.

Nach den Negativen des Testobjektes (der früher erwähnten Landschaft) wurden Kopien hergestellt; dabei wurden die Negative so ausgesucht, daß auf jeder Papiersorte die Kopie des Negativs mit dem kleinsten γ zu flau, die Kopie des Negativs mit dem größten γ zu hart war.

Die Positive wurden auf grauen Kartons aufmontiert und bei günstiger, in allen Fällen gleicher Beleuchtung betrachtet. Die Unterlagekartons reflektierten ca. 30% des auffallenden Lichtes.

Die Kopien wurden von 75 Personen begutachtet. Die Frage, welche die Begutachter zu beantworten hatten, lautete: Welche unter den Kopien auf der gleichen Papiersorte (hergestellt nach Negativen mit verschiedenen γ-Werten) ist — vom photographischen Standpunkt beurteilt — die beste? Auf Grund der gefällten Urteile konnten bestimmte Gammawerte zwischen den zur Verfügung stehenden Gammawerten der Negative interpoliert werden.

Die Begutachter waren 1. ungeschulte Amateure, 2. Halbprofessionisten, d. s. solche Leute, die über eine ziemlich große Erfahrung in der Beurteilung photographischer Bilder verfügen, 3. Professionisten, d. s. solche Leute, die eine sehr bedeutende Erfahrung auf dem Gebiete der Bildbeurteilung haben.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Es erschien wichtig, die Beobachtungen durch die Begutachter auch wiederholen zu lassen; einzelne Begutachter aus jeder der angeführten Gruppen 1—3 wurden nach Ablauf eines bestimmten Zeitraumes neuerdings zur Beurteilung der Kopien herangezogen. Die erwähnten Zeiträume waren so gewählt, daß die Begutachter die von ihnen gutgeheißenen Bilder wohl kaum mehr in Erinnerung hatten. Es zeigte sich, daß die Wiederholung der Beurteilungen zu den gleichen Resultaten führte wie die erste Begutachtung.

In einer der Mitt. Nr. 264 des Eastman-Kodak Forschungslaboratoriums beigefügten Tabelle wurden die γe-Werte der besten Negative (im früher erläuterten Sinne) zusammengestellt und zwar für die einzelnen oben erwähnten Beobachtergruppen. Aus allen diesen Werten wurden Mittel gebildet. Es hat sich gezeigt, daß die gefundenen Mittelwerte der einzelnen Gruppen untereinander vorzüglich übereinstimmen.

An diese tabellarischen Zusammenstellungen wurden Fehleruntersuchungen geknüpft, welche sich auf folgende Fehlerquellen bezogen: 1. Ablesefehler bei der Dichtemessung, 2. Fehler infolge lokaler Verschiedenheiten der Empfindlichkeit des Positivmaterials, 3. Fehler, hervorgerufen durch verschiedene beim Entwickeln, Fixieren, Waschen, Trocknen usw. bestandene Verschiedenheiten bzw. Veränderungen (Fehler beim Arbeitsprozeß), 4. Expositionsfehler. Ad 1. Dieser Fehler beträgt unter günstigen Verhältnissen ca. $\pm$ 1,7%, d. h. der kleinste wahrnehmbare Helligkeitsunterschied ist ca. 1,7% (dies entspricht einem Dichteunterschied von 0,0074). Die Dichte ist eine logarithmische Funktion des Reflexionsvermögens und direkt proportional zur Helligkeit; der kleinste noch wahrnehmbare Dichtenunterschied $\triangle D$ ist für alle Dichtewerte konstant, $\pm \triangle D$ ist also gleich 0,0074. Zur Bestimmung der einzelnen Fehlereinflüsse wurden mannigfache Methoden angewendet, welche im wesentlichen darauf beruhten, daß verschiedene Sensitometerstreifen verschiedenartig behandelt wurden. Auf Grund der festgestellten Einzelfehler wurde schließlich der Gesamtfehler, hervorgerufen durch alle angeführten Fehlerquellen, ermittelt. Die Fehleruntersuchung führte zur Erkenntnis, daß der Ablesefehler den größten Einfluß ausübt.

Des weiteren wurden die Kopien verschieden lang entwickelt. Die experimentellen Vorarbeiten für das Kontraststudium an photographischen Papieren dauerten 10 Jahre; tausende von Bildern und Sensitometerproben wurden hergestellt und geprüft;

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

alle Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die charakteristischen Kurven aller Kopierpapiere, insbesondere aber der Entwicklungspapiere, von einer geraden Linie so wenig abweichen, daß diese Abweichung kleiner ist als der Fehler, welcher bei der Festlegung der einzelnen Punkte der charakteristischen Kurve begangen wird; allerdings soll damit nicht behauptet werden, daß die charakteristische Kurve eines Positivmaterials für dessen Charakterisierung von der gleichen Wichtigkeit ist, wie für ein Negativmaterial. Wenngleich die charakteristische Kurve des Positivmaterials theoretisch nur schwer erklärbar ist, so führte das Experiment unleugbar zum Ergebnis, daß die Abweichung der charakteristischen Kurve von einer geraden Linie sehr klein, ja sogar kleiner ist, als auf Grund des Versuchsfehlers zu erwarten wäre.

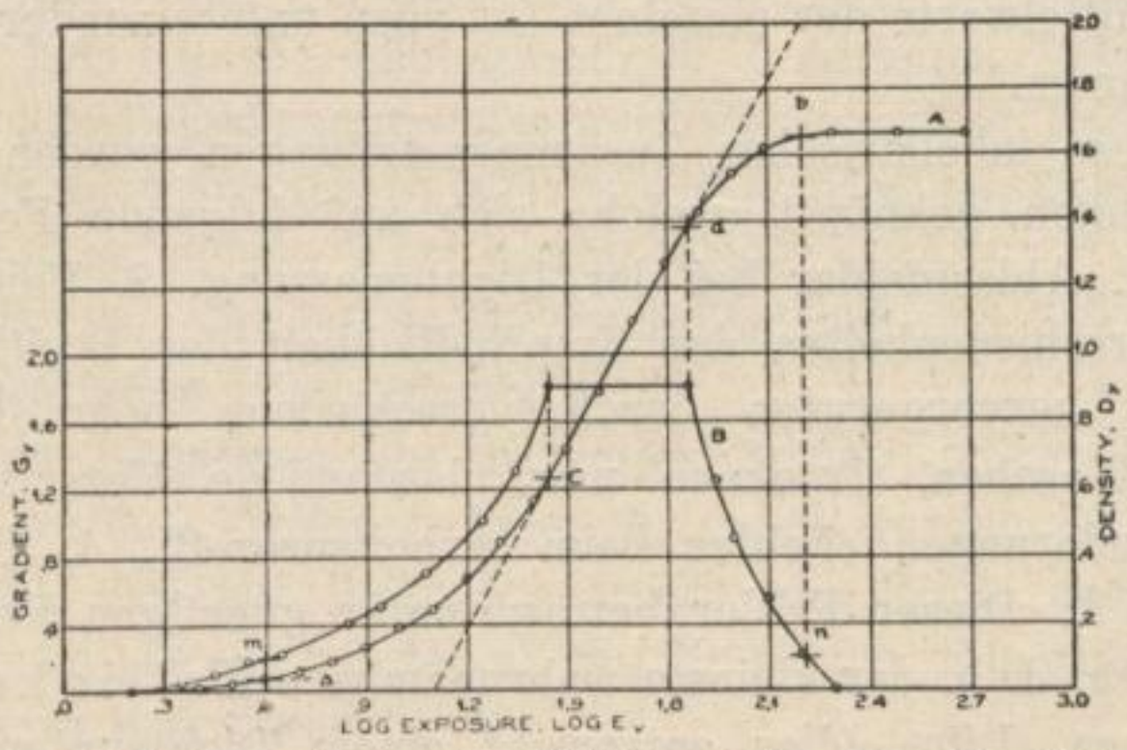


Abb 53. *B* **ist die Kurve der ersten Ableitung der charakteristischen Kurve** *A* **eines Positivmaterials.**

Sollen die sensitometrischen Versuchsergebnisse als Unterlage für die Untersuchung der Helligkeits(Ton-)-Wiedergabe und des Kontrastes verwertet werden, so muß man die charakteristische Kurve des verwendeten Positivmaterials genau analysieren; zu diesem Behufe bedarf man der Kenntnis ihres ersten Differentialquotienten (ihrer ersten Ableitung). In Abb. 53 ist die Kurve *A* die Log. der Exposition — Dichte-Kurve eines Positivmaterials. Man bestimmt für jeden Punkt dieser Kurve die Tangente des Neigungswinkels $\frac{d\,D}{d\,log\,E} = G_y$ (den Gradienten) und trägt diesen Wert als Ordinate zu den einzelnen Punkten der *log E*-Skala auf; durch Verbindung der Ordinatenendpunkte erhält man die Kurve *B*. Von jenen Punkten *m* und *n* der Kurve *B*, deren Ordinatenwerte

$G_y = 0{,}2$ betragen, zieht man Senkrechte, welche die Kurve A in den Punkten a und b schneiden. Ferner zieht man durch die Endpunkte des horizontalen Teiles der Kurve B Senkrechte und schneidet mit diesen die Kurve A in den Punkten c bzw. d. Mit Hilfe der Koordinaten der Punkte a, b, c und d lassen sich die gesuchten sensitometrischen Konstanten (außer $D_{y\,max}$) ermitteln u. z. durch folgende Beziehungen:

$Dmax$ ist die maximale Dichte,

$D\,S_y$ ist der Dichtegesamtbereich des Positivmaterials,

$D\,L_y$ ist der Dichtespielraum des Positivmaterials,

$E\,S_y$ ist der Expositionsgesamtbereich des Positivmaterials,

$E\,L_y$ ist der Expositionsspielraum des Positivmaterials,

Φ_y ist der mittlere Gradient des Positivmaterials,

$$E\,L_y = log\,E_d - log\,E_c$$

$$D\,L_y = D_d - D_c$$

$$_y = \frac{D\,L_y}{E\,L_y} = \frac{D_d - D_c}{log\,E_d - log\,E_c}$$

$$E\,S_y = log\,E_b - log\,E_a$$

$$D\,S_y = D_b - D_a$$

$$\Phi_y = \frac{D\,S_y}{E\,S_y} = \frac{D_b - D_a}{log\,E_b - log\,E_a} = Ag\,\beta$$

$\frac{1}{E_a} \cdot c =$ Empfindlichkeit,

$E_a \cdot 100 = E_s$ (Normalexposition)

In einer zusammenfassenden Tabelle wurden für die 37 verwendeten Papiere die Werte der vorstehend angegebenen Größen zusammengestellt.

10. Die Bestimmung des Kontrastes auf Grund der sensitometrischen und statistischen Versuchsdaten.

Zunächst war festzustellen, welcher Teil des überhaupt zur Verfügung stehenden Dichtegesamtbereichs jedes einzelnen Positivmaterials zur Anfertigung des besten Positivs angewendet wurde. Diese Untersuchung führt zu verschiedenen analytischen Feststellungen bezüglich der charakteristischen Kurve eines Positivmaterials sowie einzelner markanter Punkte dieser Kurve; insbesondere wurden die Werte der Gradienten an den Endpunkten des benutzten Teiles der charakteristischen Kurve ermittelt. In zahlreichen Tabellen wurden verschiedene bezügliche aus charakteristischen Kurven von Positivmaterialien abgeleitete Werte zusammengestellt.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schließlich wurde zur Ermittlung des Kontrastwertes übergegangen. Aus den eingangs erwähnten psychophysikalischen Gesetzen läßt sich schließen, daß der Kontrast, angewendet auf photographische Papiere, von zwei Faktoren abhängig ist: a) seiner Ausdehnung (seinem Bereich), b) seinem Grad (Anstieg). *Ad a*) Innerhalb jener Helligkeitsbereiche, für welche die Empfindung dem Reiz proportional ist, ist der Kontrast zum Logarithmus des Helligkeitsbereiches direkt proportional. Die Proportionalitätskonstante ist zweifellos von $\triangle D$, d. i. von der geringsten noch wahrnehmbaren Helligkeitsdifferenz abhängig. Je kleiner $\triangle D$ ist, um so größer ist die Anzahl der wahrnehmbaren Stufen zwischen der maximalen und minimalen Helligkeit. $\triangle D$ wurde zu 1,7% vermittelt, d. i. in Dichte ausgedrückt zu 0,0074. Demzufolge läßt sich der Ausdehnungsfaktor Σ des Kontrastes in absolutem Maße folgendermaßen ausdrücken $\Sigma = \frac{1}{\triangle D}(D_{max} - D_{min}$. *Ad b*) Betrachten wir ein Bild, so können wir die bei der Herstellung des Positivs verwendete Exposition bzw. deren Logarithmus nicht abschätzen. Das Auge vermag nur eine bestimmten Helligkeitsbereich im Positiv wahrzunehmen; darin besteht eben das das Gefühl für den Grad des Kontrastes. Da ein streng analytischer Ausdruck für den Gradienten noch nicht gebildet werden kann, so wurde eine graphische Methode zur Bestimmung dieses Kontrastfaktors benutzt. In Abb. 54 ist A eine Kurve, welche dadurch gewonnen wurde, daß man zu den einzelnen Dichtewerten (D) die Werte der zugehörigen $\frac{dD}{d\,log\,E}$ als Ordinaten auftrug. Diese Kurve stellt die Ableitung der D-$logE$-Funktion dar. Ermittelt man die von der Kurve A eingeschlossene Fläche und dividiert den erhaltenen Wert durch oq, d. i. die Grundlinie dieser Kurve, so erhält man den Mittelwert von $\frac{dD}{d\,log\,E}$. Der Kontrastgradient ist direkt proportional zu diesem Mittelwert $\bar{G}D$; die Integrationskonstante bei der Integration der von der Kurve A eingeschlossenen Fläche ist von $\triangle D$ (siehe

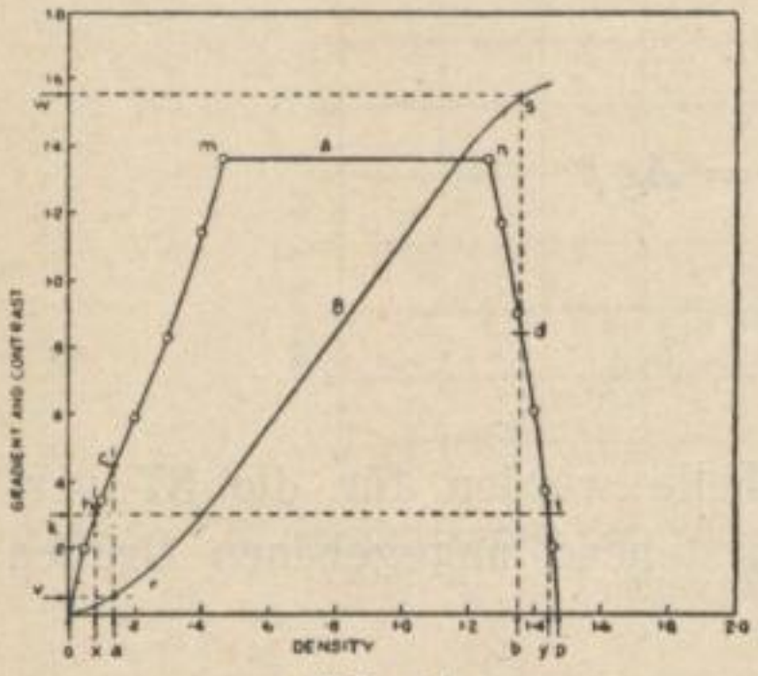


Abb. 54.
Ermittelung der Dichte-Kontrastkurve.

oben) abhängig. Man drückt den Kontrastgradienten (τ) somit folgendermaßen aus: $\tau = \frac{1}{\triangle D} \cdot \bar{G} D$. Der Kontrast kann mathematisch mithin folgendermaßen ausgedrückt werden: $\Omega = (D^{max} - D^{min}) \frac{\bar{G} D}{(\triangle D)^2}$. Der Kontrast ist direkt proportional zu der durch die Kurve A eingeschlossenen Fläche; verwendet man $\triangle D$ als Längeneinheit für die einzelnen Skalen, so liefert die integrierte Fläche den Kontrast im absoluten Maß. Die Punkte der Kurve B in Abb. 54 werden bei der Integration von Flächenabschnitten der durch die Kurve A begrenzten Fläche gewonnen; die Kurve B veranschaulicht den Kontrast als Funktion der Dichte.

Derartige Kontrastkurven wurden für alle untersuchten Positivmaterialien ermittelt; bestimmte Partien dieser Kurven wurden mit Heranziehung verschiedener Daten im besonderen untersucht. (U. a. auch jene Partie, welche dem bei der Anfertigung der besten Kopie verwendeten Teil der charakteristischen Kurve entspricht.) In etlichen Tabellen wurden die ermittelten Kontrastwerte für alle untersuchten Positivmaterialien zusammengestellt, und zwar totale Kontrastwerte für denjenigen Teil der charakteristischen Kurve, der von den Punkten begrenzt wird, in denen $\frac{d D}{d \log E} = 0{,}2$, sowie effektive Kontrastwerte, welche sich auf denjenigen Teil der Dichte *log-E*-Kurven beziehen, der zur Herstellung der jeweils besten Kopie herangezogen wurde.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SIEBENTES KAPITEL.

NORMALPAPIERE FÜR PHOTOMETRIE UND SENSITOMETRIE VON AUSKOPIERPAPIEREN.

Bei Verwendung sehr kräftiger Normallichtquellen kann man die Empfindlichkeit von Kopierpapieren auf Lichteinheiten beziehen.

Für gewöhnlich benützt man photographische Normalpapiere, die eine konstante Empfindlichkeit besitzen und auf die man die Empfindlichkeitsrelation anderer Proben bezieht.

Chlorsilber-Normalpapier.

Die Empfindlichkeitszahl eines Auskopierpapieres (vor allem der Silberkopierpapiere) kann durch den Vergleich mit dem Bunsen-Roscoeschen Normal-Chlorsilberpapier, welches leider jeden Tag frisch bereitet werden muß, bestimmt werden. Es ist konstant und gehorcht dem Reziprozitätsgesetz. Zur Herstellung des Bunsenschen Normalpapieres werden 300 g reines Chlornatrium in 10 Liter Wasser gelöst, in eine Tasse gegossen und ein Bogen reines photographisches Rohpapier (z. B. 8 Kilo Rivespapier) ganz untergetaucht, nach 5 Minuten herausgenommen und vertikal hängend getrocknet; es hält sich unbegrenzt lange Zeit. Zur Sensibilisierung läßt man ein Stückchen (etwa im Format 13×18 cm) auf der Oberfläche eines Silbernitratbades (12 g Silbernitrat in 100 ccm Wasser) während zwei Minuten schwimmen und läßt in der Dunkelkammer frei hängend trocknen. Das Bunsensche Normalpapier[1]) hält sich nur 18 bis 24 Stunden lang. Ein Streifen von solchem Normalpapier wird

---

1) Das Bunsensche Chlorsilbernormal-Papier dient auch zu Lichtmessungen mit grauen Normalfarben. Bunsen und Roscoe nahmen als Einheit des Sonnenlichtes jene Lichtstärke an, welche in einer Sekunde auf dem Chlorsilber das „Normalgrau“ hervorbringt. Das Bunsensche Normalgrau besteht aus einem Gemisch von 1000 Teilen Zinkoxyd mit 1 Teil reinstem Ruß (s. Eder, Handb. d. Phot. I, 3; Dritte Aufl. 1912, S. 131). Hecht versuchte die Anzeigen des Eder-Hecht-Sensitometers auf Bunsensche Lichteinheiten zu reduzieren und in Tabellen auszudrücken (Eder, Ein neues Graukeilsensitometer für Sensitometrie und Lichtmessungen; Halle a. d. Saale, 1920, S. 41).

mit einem Streifen des zu prüfenden Papieres in ein Eder-Hecht-Sensitometer (Keilkonstante 0,4) gelegt und gleichzeitig belichtet. Für genauere Messungen kann man das Eder-Hechtsche Kopierphotometer mit der Keilkonstante 0,3 oder 0,18 benützen. Man liest die betreffenden Schwellenwerte ab und achtet genau auf den Verlauf der Gradationskurve, den Sensitometerwert an der Stelle der tiefsten Schwärzung, dort wo keine Schwärzungszunahme bei gesteigerter Exposition mehr erkennbar ist. Die Differenz der wirkenden Lichtmengen zwischen Schwellenwert und maximaler Schwärzung gibt den Umfang der Gradation, der auch logarithmisch ausgedrückt werden kann. Am besten ist die Beziehung auf mittleres Sonnenlicht.

Solche vergleichende relative Proben verschiedener Kopierpapiere sind auch ohne Normalpapier für den Phototechniker und Amateurphotographen von Wert.

Für die messende Papieruntersuchung sowie zur Photometrie von Lichtquellen, oder zur meteorologischen Untersuchungen ist die Verwendung haltbarer Chlorsilberpapiere vorzuziehen.

Eder empfahl 1920 ein haltbares Chlorsilbergelatine-Normalpapier, das in seiner Empfindlichkeit gegen Tageslicht oder Magnesiumlicht sich ganz an das Bunsensche Normalpapier anschließt, aber in Vorrat hergestellt werden kann und über Jahr und Tag haltbar ist. Als sensible Schicht dient gewaschene Chlorsilbergelatineemulsion, wie sie zur Herstellung von Gaslichtpapier mit Entwicklung verwendet wird. Sie wird auf sog. Barytpapier in der üblichen Weise maschinell aufgetragen. Die Emulsion erhält aber einen Zusatz von Natriumnitrit und etwas Glyzerin, wodurch sie am Lichte rasch und kräftig rotbraun wird, und ist sehr haltbar und färbt sich rasch und kräftig rotbraun. Die Empfindlichkeit (Schwellenwert) kann gleich jener des Bunsen-Normalpapiers erreicht werden; geringe Abweichungen können leicht in Rechnung gesetzt werden. Man liest vor dem Fixieren den Schwellenwert ab. Solche Photometerpapiere fabriziert (nach Eders Angabe) die „Herlango"-Aktiengesellschaft für Photographische Industrie, Wien III, Rennweg 52.

Bestimmt man das Verhältnis von Empfindlichkeit hinter dem Blau- und Gelbfilter im Eder-Hecht-Sensitometer oder mit Kupfersulfatammoniak und Kaliumchromatfiltern (s. 11. Kapitel), so ergibt sich beim Tageslicht die Relation Blau: Gelb ungefähr 20 bei bedecktem Himmel, bei klarem Sonnenlicht etwas mehr. Die spektrale

Wirkung erstreckt sich auf Blau, Violett und Ultraviolett, ein Bruchteil auf Blaugrün, während die Empfindlichkeit in Gelb und Rot verschwindend ist.

Zelloidinpapier.

Das Zelloidinpapier des Handels besteht in seiner normalen Sorte aus einer Emulsion von Chlorsilber + Silbernitrat im Überschuß + Zitronensäure. Die spektrale relative Farbenempfindlichkeit ist annähernd dieselbe, wie des Chlorsilbernitritpapieres oder des Bunsenschen Normalpapieres. Es genügt also die Bestimmung der relativen Empfindlichkeit des fraglichen Zelloidinpapieres mit dem Bunsenschen oder dem geeichten haltbaren Chlorsilbernitritpapier (bei Tageslicht oder Magnesiumlicht), um es dann als Photometerpapier benützen zu können.

Ganz frisch erzeugte Zelloidinpapiere sind in der Regel empfindlicher als das mehrere Wochen alte Papier. Nach einer größeren oder kleineren Anzahl von Wochen wird das Papier stationär. Man muß beim Photometrieren mit derartigen sekundären Normalpapieren darauf Rücksicht nehmen.

Bromsilbergelatine für Normal-Auskopierpapier.

Reine Bromsilbergelatine, wie man sie als feinkörnige Emulsion für Positivpapier mit Entwicklung in der photographischen Industrie verwendet, besitzt im weißen Tageslichte eine wesentlich größere Empfindlichkeit (am Schwellenwert gemessen) als Chlorsilbernormalpapier, nimmt aber nur eine geringe Schwärzung an und zeigt eine sehr flache Gradation. Mit Zusätzen von Nitriten, Hydrochinon, Brenzkatechin, Resorzin, Salzen des Phenylhydrazins und anderen Hydrazinderivaten, die Salze des Phenylglyzins z. B. phenylaminoessigsaures Natrium (in Form von wässerigen Bädern) bewirken die raschere und kräftigere Schwärzung des Bromsilbers am Tageslichte; es ist in dieser Form als Photometerpapier (direkte Schwärzung) verwendbar und verhält sich in seiner Farbenempfindlichkeit sehr ähnlich der Bromsilbergelatine mit Entwicklung. Deshalb wird es in der Praxis für Expositionsmesser benützt (mit einer Anlauffarbe als Normalton). Die mit derartigen Sensibilisatoren gebadeten Bromsilbergelatinepapiere verlieren beim Aufbewahren und Austrocknen mehr oder weniger an Lichtempfindlichkeit. Glyzerinhaltige Bäder verhalten sich besser, weshalb Eder Bäder von 100 ccm Wasser, 5—10 ccm Glyzerin und 5 g Natriumnitrit oder Resorzin benützt. Badedauer drei Minuten, dann freies Trocknen in der Dunkelkammer

durch 24 Stunden. Hiernach verhalten sich solche Papiere genügend konstant. Diese Zusätze können auch der geschmolzenen Emulsion vor dem Aufgießen auf Papier zugesetzt werden. Weiße glänzende Barytpapiere oder Kartons sind hierfür zu empfehlen.

Über die relative Lichtempfindlichkeit verschiedener Photometerpapiere gibt Eders Tabelle (Aus Eder, Ein neues Graukeil-Photometer für Sensitometrie usw., Halle a. S., 1920, S. 36) Aufschluß.

Lichtempfindlichkeit verschiedener Photometerpapiere bei Tageslicht nach Eder gemessen am Schwellenwert.

Papiersorte	Relative Empfindlichkeit
Bunsens Normalchlorsilberpapier	1
Eders Chlorsilbergelatinepapier mit Natriumnitrit	1
„ „ mit Pinaflavol	9—10
Extra hart kopierendes Rembrandt-Chlorsilber-Zelloidinpapier von Hrdliczka in Wien	$^1/_8$ bis $^1/_{10}$
Hart kopierendes gewöhnliches Zelloidinpapier	$^1/_2$
Normales Zelloidinpapier (Hrdliczka)	1
Bromsilbergelatine-Papier mit Resorzin und Glyzerin	6
Bromsilbergelatinepapier mit Natriumnitrit und Glyzerin	10—15

Die hochempfindlichen Photometerpapiere mit Pinaflavol leisten mitunter sehr gute Dienste bei der Photometrie lichtarmer Wohn- und Arbeitsräume usw.

Beim Bromsilbergelatinepapier liegt der Schwerpunkt der Empfindlichkeit im Sonnenspektrum im Blau bei hoher Violettempfindlichkeit und einer beträchtlichen Ultraviolettempfindlichkeit, die jedoch nicht so vorwiegend auftritt, wie beim Chlorsilber, dessen Schwerpunkt der Farbenempfindlichkeit weit im Violett und Ultraviolett liegt. Pinaflavolpapier hat den Schwerpunkt der Empfindlichkeit im Grün.

Durch Baden der Bromsilber- oder Chlorsilberpapiere in wässeriger Erythrosin- oder Rhodaminlösung (100 ccm Wasser, 5—10 ccm einer Erythrosinlösung [1 : 500] und etwas Glyzerin) erhöht man auch beim direkten Schwärzungsprozeß die Farbenempfindlichkeit für Grün und Gelb, jedoch dominiert noch immer die Blauempfindlichkeit, welche man durch Gelbfilter unterdrücken kann. Solche Papiere sind haltbar.

Die günstigste Farbenempfindlichkeit erzielt man für Grün und Gelb im Auskopierprozeß durch Baden des Bromsilbergelatinepapieres in 100 ccm Wasser, 5 ccm Erythrosinlösung (1:500) und 10 bis

20 ccm Silbernitratlösung (1:100) nebst einigen Tropfen Ammoniak bis zur Auflösung des karminroten Niederschlages von Erythrosinsilber und Zusatz von 10 ccm Glyzerin. Geringe Mengen von Silbernitrat geben haltbarere Papiere; Badedauer 3 Minuten; mehr Silbernitrat steigert die Empfindlichkeit. Die Gesamtempfindlichkeit des frischen Papieres gegen diffuses klares Himmelslicht (Sommer) ist ungefähr 5—10 mal größer als von Normalchlorsilberpapier. Das Erythrosinsilberpapier schwärzt sich hinter dem gelben Lichtfilter des Eder-Hecht-Sensitometers so rasch, daß hierbei seine Empfindlichkeit der des Chlorsilbers im freien Graukeil nahekommt. Bei Verwendung von Gelbfiltern geht die photographische Lichtanzeige parallel der visuellen Helligkeit des Tageslichtes. Viel günstiger verhält sich das Pinaflavolpapier bei großer Haltbarkeit.

Chromatpapiere.

Bekanntlich ist das Chromatpapier das beste zur Messung der Kopierdauer beim Pigmentverfahren und anderen phototechnischen Chromatverfahren. Man stellt es durch Baden von weißem,, glattem, nicht zu dünnem Schreibpapier oder gelatiniertem weißem Barytpapier in einer 4prozent. Lösung von Kaliumbichromat her. Es wird frei hängend in einer mäßig temperierten Dunkelkammer getrocknet und hält sich einige wenige Tage.

In ähnlich wirkendes haltbares Chromatpapier kann man nach Eder durch Auflösen von 10 g Kaliummonochromat, 5 g Ammoniumoxalat zu 100 ccm Wasser herstellen. Die darin gebadeten Papiere halten sich wochenlang. Dieses Papier ist gegen Sonnenlicht etwa halb so empfindlich (Schwellenwert) als normales Chlorsilberpapier. Das Kaliumbichromatpapier bräunt sich im Lichte allerdings etwas kräftiger als das Monochromatpapier + Ammoniumoxalat; letzteres wirkt als Sensibilisator für das Monochromat, das für sich allein auf Papier nur etwa $^1/_3$ oder $^1/_4$ der Empfindlichkeit des Bichromates besitzt.

Die relative Empfindlichkeit der Chromatpapiere hinter blauen ammoniakalischen Kupfersulfatlösungen und Kaliummonochromatlösungen entspricht der Relation $\frac{\text{Blau}}{\text{Gelb}} = 7$. Die Wirkung hinter dem Gelbfilter kommt aber nicht dem Spektralgelb, sondern der Wirkung des blauen und grünen Spektrums zu (Eder, Photometrie der sichtbaren Lichtstrahlen mit lichtempfindlichen Leukobasen sowie mit Chlorsilber- und Chromatpapier, Sitzungsber. der Akad. d. Wissensch. in Wien. April 1919, Bd. 128, Abt. II a).

Diazotyppapiere als Normalpapiere für Photometrie.

Die photographischen Diazotypprozesse sind im 4. Band, 2. Teil, sowie in dem Bande über Lichtpausverfahren dieses Handbuchs IV, 4, 1929, ausführlich beschrieben.

Die in neuerer Zeit fabrikmäßig hergestellten Diazotyppapiere geben nach positiven Zeichnungen positive Kopien, sind somit für Zwecke der Lichtpauserei gut verwendbar. Sie werden in großem Maßstabe hergestellt, z. B. das Ozalidpapier von Kalle, das Primulinpapier von Van der Grinten.

Diese Diazotyppapiere sind wegen ihrer Haltbarkeit, Gleichmäßigkeit und ausgesprochenem Blauviolett und das angrenzende Ultraviolett sehr gut geeignet für photometrische Zwecke, weil sie durch einen enger begrenzten Spektralbezirk bei großer Unempfindlichkeit gegen Grün, gegen Gelb oder Rot sich von den Chromat- oder Silbersalzpapieren (Chlor- und Bromsilber) unterscheiden, den diese reagieren im Photometer auf breitere Spektralbezirke.

Eder stellte seine Versuche mit dem Van der Grintenschen „Primulinpapier“ an und die nachstehende Tabelle beweist die dominierende Blauviolettempfindlichkeit. Die Gesamtempfindlichkeit des Diazotyppapieres gegen Normalchlorsilberpapier bei Tageslicht ist nur etwa $^1/_{20}$ des letzteren (am Schwellenwert gemessen), dagegen das Gamma beim Diazopapier sehr viel größer, so daß die praktische Kopierdauer für Lichtpausen, wo kräftige Schwärzen erforderlich sind, mindestens dem Chlorsilberpapier ungefähr gleichkommt.

Lichtempf. Papiere	Freier Graukeil auf Glas (Durchlässigkeit ab 313)	Blau (330 bis 485)	Grün (485 bis 570)	Rot (570 das ganRot)
Chlorsilber—Normalpapier — u. Chlorsilber — Kollodium-Emulsion	100	85—89	4	—
Ozalid- u. Van der Grintens Primulin-Papier (Diazotypie)	100	ca. 90	0,2	—
Kalium - Bichromatpapier	100	69	28	—
Chlorsilberpapier mit Pinaflavol u. Natriumnitrit	100	26	78	Spur

Der Verlust bei der Farbenanalyse des Chlorsilber-Normalpapieres rührt daher, daß das Ultraviolett hinter den Farbenfiltern nicht voll zur Geltung kommt.

Bei den Diazotyppapieren beschränkt sich die Empfindlichkeit auf das Blaufilter, während sie für Grün praktisch unempfindlich sind; diese engbegrenzte Empfindlichkeitszone gegen Licht kürzerer Wellenlänge ist charakteristisch und in der Photometrie auszunützen.

Das Kaliumbichromatpapier zeigt eine bemerkenswerte Grünempfindlichkeit, aber sehr geringe Gelbempfindlichkeit.

Eine ganz enorme Grünempfindlichkeit besitzt das Pinaflavolchlorsilberpapier im Auskopierverfahren, worauf Eder bereits in der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien am 9. November 1922 (siehe Akademieanzeiger) aufmerksam gemacht habe. — Das Pinaflavol kann nicht durch das Pinaverdol (das ein kräftiger Grünsensibilisator für Bromsilbergelatine mit Entwicklung ist) ersetzt werden, denn dieses wirkt im Auskopierprozeß auf Chlorsilber sogar als Desensibilisator, sowohl in bezug auf Allgemein- und spezielle Grünempfindlichkeit.

Die gewaltige Grünempfindlichkeit des Pinaflavolchlorsilberpapieres bewirkt auch in hohem Grade die Steigerung der Gesamtempfindlichkeit gegen weißes Licht (Sonnenlicht, Bogenlicht), die auf das 4—8fache (je nach dem Farbstoffgehalt) erhöht wird. — Eder benützte die normale Chlorsilbergelatineemu'sion der Fabrik Lainer-Hrdliczka in Wien, gewaschen und geschmolzen, mit einem Zusatz von 5 g Natriumnitrit, 5 g Glyzerin und 6 ccm Pinaflavollösung (1:1000 Alkohol) pro 100 ccm Emulsion. Das Auftragen auf Barytpapier erfolgte in der Fabrik mit Maschinenguß und solches Papier ist dort erhältlich.

Pinaflavolpapier ist so sehr grünempfindlich, daß die Sensitometeranzeigen nach dem Vorschalten eines schwachen gelben Dämpfungsfilters nur wenig herabgesetzt werden, und daß immer noch eine höhere Empfindlichkeit resultiert, als sie das Bunsensche Normalpapier besitzt. — Dabei nähern sich die Photometeranzeigen mit Pinaflavolpapier jener den visuellen Helligkeitswerten der optischen Photometrie.

ACHTES KAPITEL.

FUNKTION DES ENTWICKLERS IN DER SENSITOMETRIE. — NORMALENTWICKLER.

Sowohl der Schwellenwert als die Gradation einer photographischen Platte sind nicht nur von der Zeitdauer der Entwicklung (s. S. 45 u. 65), sondern auch von der Energie und der Natur des Entwicklers abhängig [1]); es ist eine gewisse Zeit der Entwicklung notwendig, sowohl wegen der zeitlich verlaufenden Reaktionsgeschwindigkeit des Entwicklers („Schnelligkeit") als auch wegen der etwas variablen Diffusionsgeschwindigkeit in der mehr oder weniger dicken Gelatineschicht (über die Unterschiede von Negativfilmen und Gaslichtpapieren, s. S. 100). Auch kommen die Temperatur des Entwicklers und alle jene Komplikationen in Betracht, welche den Entwicklungsvorgängen photographischer Schichten eigentümlich sind.

Normaltemperatur der Entwicklerlösungen.

Als Normaltemperatur bei der Entwicklung wird $18^{0} \pm 0{,}5^{0}$ angenommen (Beschluß des Internationalen Photographischen Kongresses in Paris 1925.) Um die Temperatur während des Entwickelns gleichmäßig zu erhalten, können Wasserbäder von genügender Größe oder Entwicklerschalen mit doppeltem Boden dienen. Über den Einfluß höherer oder niedriger Temperatur des Entwicklers auf photographische Schichten siehe VIII. Kapitel.

Einfluß des Entwicklers auf den Schwellenwert.

Im allgemeinen erreicht man mit Rapidentwicklern, wie Metol, Metol-Hydrochinon-Soda oder -Pottasche, am sichersten das Optimum des Schwellenwertes, sowohl bei Rapidplatten als bei Diapositivplatten. In anderen Fällen auch mit Rodinal, Hydrochinon usw.; jedoch differieren die Schwellenwerte mit den weniger kräftigen Entwick-

1) Über den Einfluß des Entwicklers auf die „Kurve der konstanten Dichte" im Sinne von Kron, s. VIII. Kapitel.

lern oft um 1—2 Grade des Eder-Hecht-Sensitometers, d. h. es resultiert eine etwas geringere Empfindlichkeitsanzeige. Die Größe dieser Differenz hängt von der Plattensorte ab. Manche langsam wirkende Entwickler (wie Pyrogallol oder Eisenoxalat, Brenzkatechin-Soda) erreichen wohl in der Regel bei sehr lang andauernder Entwicklung annähernd auch das Optimum des Metolentwicklers, bleiben aber nicht selten mehr oder weniger zurück. Ähnliches gilt von der Maximalschwärzung, die aber in hohem Grade auch von der Dicke und dem Silbergehalt der Emulsionsschicht abhängt, während der Schwellenwert weniger dadurch beeinflußt wird.

Als Beispiel sei erwähnt, daß ein starksaurer Amidol-Entwickler (mit Bisulfitzusatz), den man zum Entwickeln schleieriger panchromatischer Platten verwendet, eine wesentlich geringere Empfindlichkeit (größeren Schwellenwert) ergibt, die mehrere Grade Eder-Hecht betragen kann. Ähnliches gilt für Chlorsilbergelatine, für welche Metol-Hydrochinon einen kleineren Schwellenwert als Ferroammoniumzitrat ergibt. — Man muß also stets angeben, für welchen Entwickler der Schwellenwert gilt.

Allerdings sind die Schwellenwerte für hochempfindliche Bromsilbergelatine mit den verschiedenen praktisch gebräuchlichen Entwicklern nicht besonders stark verschieden; dies kommt davon, daß die Fabrikanten neuer Entwickler-Substanzen nur solche Präparate in den Handel bringen, die mit den altbewährten konkurrenzfähig erscheinen. Bei wenig reifer Diapositivemulsion sind die Differenzen der Schwellenwerte mit verschieden kräftigem Entwickler in der Regel größere.

In neuerer Zeit stellte E. R. Bullock im Eastman-Kodak-Versuchslaboratorium Versuche über die Variationen des Schwellenwertes unter dem Einflusse verschiedener Entwickler an (Abridged scientif. Public. Kodak Research Lab. 1926, Bd. X, S. 144). Er prüfte zunächst unreife Bromsilbergelatine-Diapositivplatten der Kodak Co. und setzte die Wirkung des Ederschen Eisenoxalat-Entwicklers = 1. Dabei ergab sich bei 20° C die relative (vom Schwellenwert abgeleitete) Empfindlichkeit ein und derselben Emulsion für

Metol	4
Diamidophenol	1,9
Paramidophenol	1,3
Hydrochinon	1,1
Ferrooxalat	1
Hydroxylamin	1,0
Glyzin	0,9
Pyrogallol	0,7

Viel geringere Schwellenwert-Empfindlichkeit (einen 5 mal größeren Schwellenwert) liefert die physikalische Entwicklung derselben Diapositivplatten sowohl vor als nach der Fixierung[1]).

Bei hochempfindlichen Bromsilberplatten der Kodak (Eastman 40, Eastman 36 Eastman-Speedway, Wratten panchromatische Platten) ist der Schwellenwert für reinen Metolentwickler und Hydrochinon praktisch gleichbleibend, aber mit Eastman „Process Plates" gibt der Metolentwickler eine 2,4 mal höhere Empfindlichkeit und Eastmans „Commercial Film" gibt eine 1,6fache, Velox (Chlorsilbergelatine) die 1,4fache Empfindlichkeit. Für eine andere Sorte Eastman Bromsilberplatten zeigte Metol gegenüber Hydrochinon oder Pyrogallol eine 1,3fache Schwellenwert-Empfindlichkeit. Entwickelt man eine Platte mit Pyrogallol oder Hydrochinon, so schreitet die Schwellenwert-Empfindlichkeit etwas weiter vor, ohne die Höhe zu erreichen, welche Metol allein ergibt.

Verwendungsart der Entwickler.

Nach den Beschlüssen der photographischen Kongresse in Paris 1925 und London 1928 wird empfohlen, die Entwicklung in der Sensitometrie in nachfolgender Ausführungsart vorzunehmen:

Die Menge des jedesmal frischen Entwicklers soll so groß sein, daß die bei der Entwicklung entstehende Bromkaliummenge 0,01 g je 100 ccm nicht überschreitet. Bei Schalenentwicklung soll die Höhe der Flüssigkeitsschicht mindestens 1 cm betragen. Die Entwicklung erfolgt ohne vorheriges Einweichen und wird durch Eintauchen der Platte in angesäuertes Wasser, saures Alaun- oder saures Fixierbad schnell unterbrochen. Um Unregelmäßigkeiten beim Auftrocknen zu vermeiden, wird das Wasser abgesaugt und in 80%igen Alkohol gebadet. Von Odencrants wird für den gleichen Zweck eine Formalinhärtung empfohlen.

Einfluß des Entwicklungsvorganges auf Schwellenwert und Gradation.

Nach dem Vorschlage von J. M. Eder am Wiener Kongreß für angewandte Chemie 1898 (s. Eder, „Photogr. mit Bromsilbergelatine", 5. Aufl. 1903, S. 214; aus Sitzungsber. d. Akademie d. Wissensch., Wien, Bd. 108, Abt. IIa, Nov. 1899 und Phot. Korresp. 1899) werden die auf Schwellenwert zu prüfenden Platten nicht mit einer fix angenommenen Zeit entwickelt, weil die Entwicklungsgeschwindigkeit verschiedener Platten und der Entwicklergemische viel zu sehr differiert. Man muß vielmehr die Platte so lange ent-

1) Physikalischer saurer Metol-Silbernitrat-Entwickler nach Lüppo-Cramer oder nach Mees; man löst 1 g Metol, 1 g Zitronensäure und 5 g Essigsäure zu 100 ccm in Wasser und vermischt vor dem Gebrauch 10 Vol. dieser Lösung mit 1 Vol. zehnprozentiger Silbernitratlösung.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

wickeln, bis der beginnende Schleier dem Fortschreiten des Schwellenwertes eine Grenze setzt. Um diese Grenze sicher zu erreichen, pflegt man etwa drei Proben derselben Platte in drei verschieden langen Entwicklungszeiten zu entwickeln, was auch für die Konstruktion der charakteristischen Kurve wertvoll ist.

Einfluß der Art des Entwicklers auf die Gradation und die Maximalschwärzung.

Für die Charakteristik einer Platte ist auch die Gradation bei extrem langer Belichtungszeit und andauernder Entwicklung von Interesse, d. h. die Bestimmung des Gamma unendlich ($\gamma\infty$); man entwickelt solange, bis das Maximum der Schwärzung erreicht ist. Dies erfolgt je nach der Plattensorte mit Rapid-Entwicklern vielleicht in 10 bis 15 Minuten (oder länger) bei 18° C und wird durch Schleierbildung kompliziert (s. Seite 65).

Für die Beurteilung der praktischen Verwendung verschiedener Handelssorten von photographischen Platten empfiehlt es sich: Schwellenwert und Gradation mittelst der vom Fabrikanten angegebenen Entwickler-Vorschriften zu ermitteln. Dies gilt namentlich für Spezialsorten, z. B. den wenig empfindlichen, sehr hart arbeitenden Reproduktionsplatten (englisch „Process Plates"), welche in der Regel mit einem Gemisch von Hydrochinon, Sulfit und kaustischen Alkalien entwickelt werden[1]), mitunter mit Metol-Hydrochinon und Pottasche oder mit Adurol.

Für Diapositivplatten, Gaslichtpapiere usw. gelten ähnliche Erwägungen.

Manche Entwickler (z. B. Metol) bringen das Bild rasch und oberflächlich zum Erscheinen und kräftigen das Negativ erst allmählich in der Tiefe. Andere Entwickler wirken langsam und holen das Bild mehr vom Inneren der Schicht heraus wie z. B. Pyrogallol, Glyzin, saurer Amidol-Entwickler.

Bei der praktischen Durchführung von Sensitometerproben muß man die Platte in einer Schale mit einer reichlichen Menge des Entwicklers von bestimmter Zusammensetzung und der normalen Temperatur 18° C) bringen; die Schale muß fleißig geschwenkt werden und mitunter bedient man sich eigener Rührwerke (s. S. 134) oder

---

1) Spezial-Entwickler für Reproduktionsplatten und andere sind ausführlich beschrieben in Eders „Rezepte, Tabellen und Arbeitsvorschriften für Photographie" 1927. Halle a. d. S., W. Knapp.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

man überstreicht die Platte während des Entwickelns wiederholt mit einer weichen Bürste oder einem breiten Pinsel.

Will man bei der Ermittlung des Schwellenwertes den schwächsten Lichteindruck aus einer Platte herausholen, so entwickelt man bis zur beginnenden Verschleierung der Platte, solange, bis die schwächst belichteten Sensitometergrade nicht mehr merklich vorrücken.

Zur Bestimmung der Gradation soll man mit mindestens drei verschieden langen Entwicklungszeiten arbeiten, die sich den Erfahrungen der praktischen Photographie anpassen, z. B.

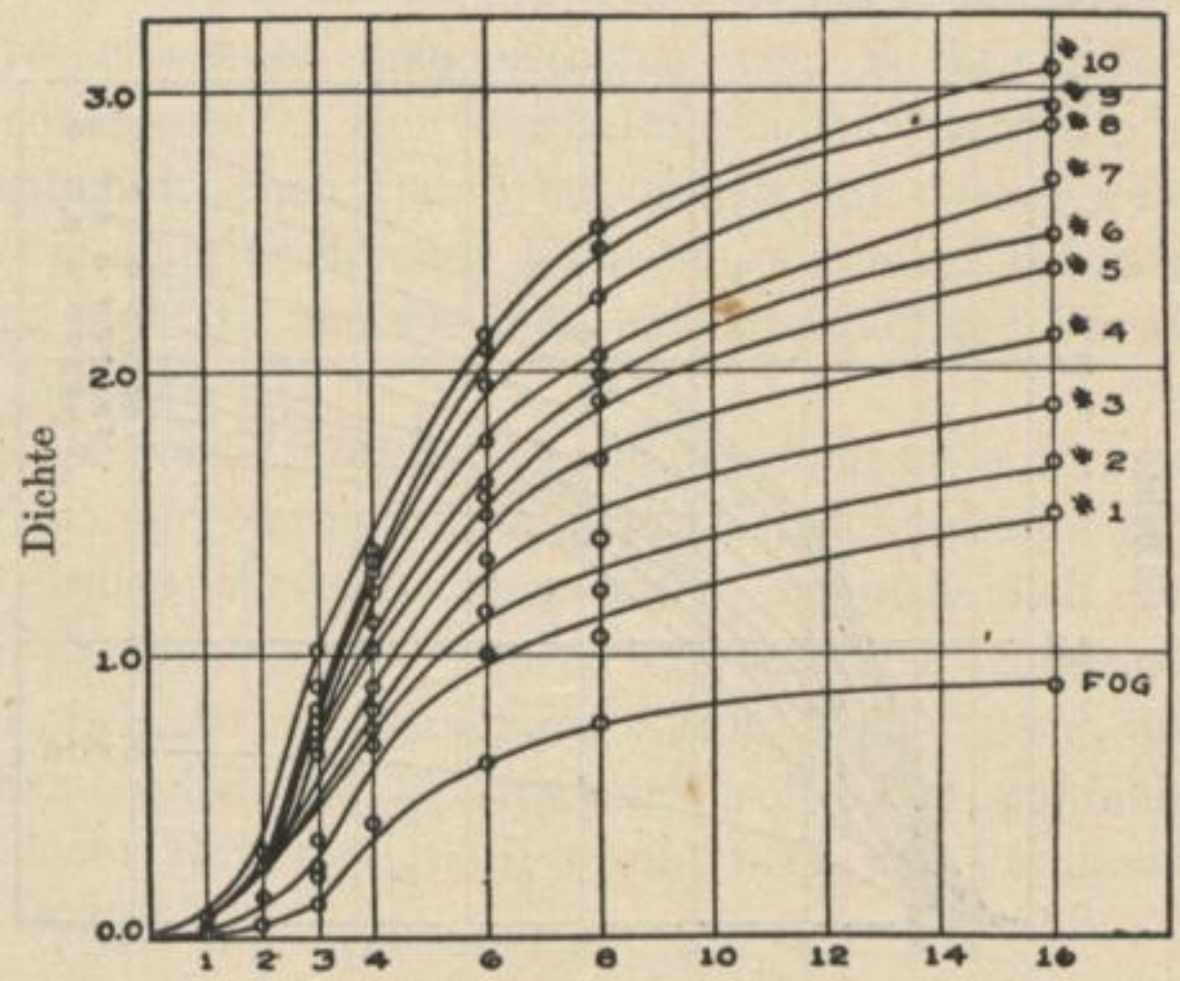


Abb. 55. Dichte-Zeitkurve für Hydrochinon-Entwickler, der mit einem Rührwerk von 720 Umdrehungen pro 1 Min. umgerührt wurde. — Fog (englisch) ist der Schleier (nach Sheppard u. Elliot).

mit Metol-Hydrochinon-Soda oder ähnlichen Rapid-Entwicklern bei Negativemulsionen 2, 4 und 6 Minuten lang oder mit langsamer wirkenden Entwicklern (Pyrogallol-Soda, Glyzin, Eisenoxalat usw.) 3, 6 und 9 Minuten lang. Darunter soll sich eine Entwicklung annähernd zum mittleren normalen Gamma = 1 befinden.

Entscheidend ist bei der Anstellung von Sensitometerproben die starke Bewegung der Entwicklerflüssigkeit. — Sehr gleichmäßige Entwicklung erzielt man nach den Angaben von Walter Clark, wenn man während der Hervorrufung mit einer langhaarigen weichen Bürste oder breitem Pinsel über die Oberfläche der Platte streicht. (Pariser photographischer Kongreß 1925; Phot. Ind. 1925, S. 76

u. 785. Ferner s. Olaf Bloch im Phot. Journ. 1921, Bd. 61, S. 425 und W. Clark, Phot. Journ. 1925, Bd. 65, S. 76).

Über den sehr großen Einfluß des tüchtigen Umrührens der Entwicklungsflüssigkeit während der Entwicklung zeichneten Sheppard und F. A. Elliot eingehende Untersuchungen an (Eastman Kodak Abridg. Scient. Public. 1924, S. 108). Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Mischvorrichtung wurde stark variiert. Die Geschwindigkeit der Entwicklung war bis zu 120 Minuten pro 1 Minute konstant, stieg aber bei größerer Geschwindigkeit des Rührwerkes rasch zu einem deutlichem Maximum an, das bei ca. 720 Umdrehungen pro Minute lag. Ein Einfluß auf die erreichte Empfindlichkeit war nicht auffällig. Das Umrühren befördert im allgemeinen den Austausch des frischen Entwicklers mit dem verbrauchten und deshalb bromhaltigen Entwicklers in der Gelatineschicht und wirkt günstig. (Journ. Franklin Instit. 1923, Bd. 195, S. 211; Abridg. Scient. Public. Eastman Kodak Nr. 156.)

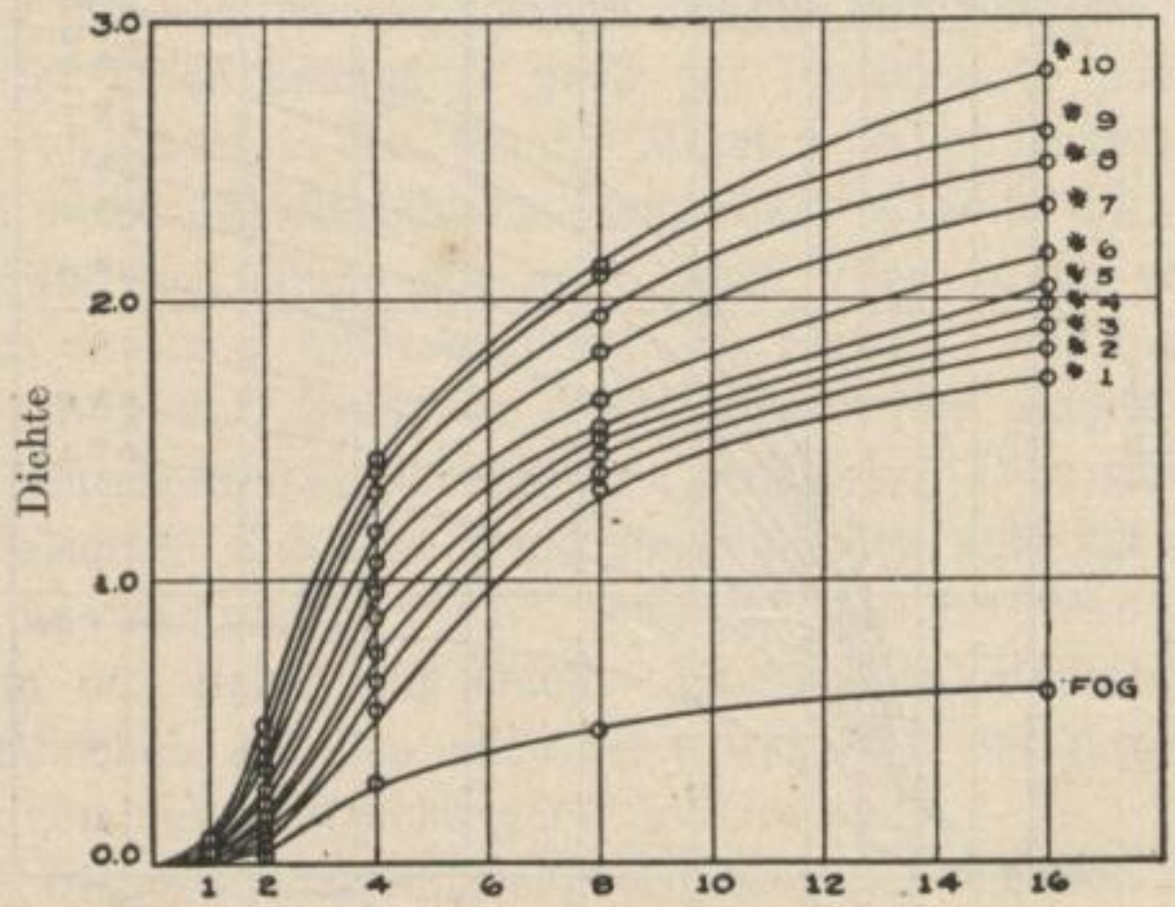


Abb. 56. Dichte-Zeitkurve für Pyrogallol-Soda-Entwickler, umgerührt mit 720 Umdrehungen pro Minute. — „Fog“ (englisch) ist der Schleier (nach Sheppard u. Elliot).

Abb. 55 und 56 zeigen die unter den optimalen Verhältnissen gewonnenen Zeit-Dichte-Kurven von Hydrochinon- und Pyrogallol-Entwickler mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührwerkes von 720 Umdrehungen. Im Koordinatennetz finden sich die Entwicklungszeit und Dichte für verschiedene Expositionen (1—10) von Eastman-Kodak-Porträtfilm angegeben.

Eine Maschine zur automatischen Entwicklung von sensitometrischen Streifen konstruierten S. E. Sheppard und H. Crouch und legten sie auf dem 7. Internat. Photograph. Kongreß in London, Juli 1928 vor. (Nr. 348 der Kodak Mitteiungen.) — Eine mechanische Entwicklungs-Einrichtung für sensitometrische Arbeiten gaben Olaf Bloch und H. Horton an (Phot. Journ.-Anz. 1928, „Die Kinotechnik“ 1928, S. 435).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Normalentwickler für Sensitometrie.

Hier sollen die Entwickler nur insoweit besprochen werden, als sie mit der Sensitometrie in unmittelbarem Zusammenhange stehen [1]).

Zum Zwecke der Vereinheitlichung der Prüfungsmethoden beschränkt man sich auf wenige sogenannte Normal-Entwickler, um das Optimum des Schwellenwertes und den Verlauf der Gradation festzustellen, wobei man den Verlauf der Schwärzungskurve in der Periode der sehr kurzen Belichtung und auch in den Perioden der langen Expositionen einschließlich der Abbiegung der Kurve bei Überexpositionen studiert.

Für den Konsumenten ist die Kenntnis der Empfindlichkeit und Gradation verschiedener Handelssorten von Wichtigkeit; je nach dem Verwendungszweck. Gewissenhafte Emulsionsfabriken geben die nötigen sensitometrischen Daten mit Bezug auf eine gegebene Entwicklungsart in einer geeigneten Weise an, um dem damit arbeitenden Photographen nicht zu langwierigen und kostspieligen Vergleichsaufnahmen zu zwingen. —

Neuerdings wurde am Pariser photographischen Kongreß 1925 die Wichtigkeit der Normalisierung der Entwicklungsart bei sensitometrischen Proben hervorgehoben, wobei hauptsächlich der Metol-Hydrochinon-Entwickler und dann andererseits der langsamere Pyrogallol-Soda-Entwickler vorgeschlagen wurde, ein Vorgang, den bereits Eder für das System der Sensitometrie seit 1900 empfohlen hatte. Später (Londoner Kongreß 1928) wurde noch der Paraamidophenol-Entwickler empfohlen.

Normaler Metol-Hydrochinon-Entwickler zur Prüfung von photographischen Porträt- und Landschafts-Platten.

Hierzu können verschiedene Vorschriften dienen: Eder verwendet einen Metol-Hydrochinon-Soda-Entwickler von folgender Zusammensetzung:

Wasser	1000 ccm,
Metol	.7 g,
Hydrochinon	7 g,
Natriumkarbonat, kristallisiert	150 g,
Natriumsulfit, kristallisiert	150 g,
Bromkalium	1 g.

1) Im Übrigen ist auf den Band „Chemie der Entwickler-Substanzen“ von Dr. M. Andresen in diesem „Handbuch“ III verwiesen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Vor dem Gebrauche verdünnt man ein Volumen dieser Vorratslösung mit zwei Volumen Wasser; Temperatur 18° C. — Für zarte Porträt-Aufnahmen kann man mit 3 Volumen Wasser verdünnen. —

Als Entwicklungszeit können zum Studium des Verlaufes der Schwärzungskurven Belichtungen von 2, 4 und 6 Minuten dienen. Zur Ermittlung des Schwellenwertes genügen häufig 6 Minuten, mitunter ist eine um einige Minuten längere Entwicklungszeit erforderlich. — Die Ablesung der Sensitometergrade erfolgt an der getrockneten Platte.

Lumière und Seyewetz empfahlen (Pariser Kongreß 1925) einen etwas anders zusammengesetzten Standard-Metol-Hydrochinon-Soda-Entwickler, wobei sie sich der komplexen Verbindung „Metochinon", welche sie in den Handel bringen, bedienen. — Ihre Normalvorschrift lautet:

Metochinon Lumière	5 g,
wasserfreies Natriumsulfit	30 g,
wasserfreies Natriumkarbonat	5 g,
Wasser, auffüllen bis	1000 ccm.

Das Metochinon ist eine komplexe Verbindung des Metols (freie Basis) mit Hydrochinon zu gleichen Molekülen nebst etwas Sulfit (s. Eder. Rezepte u. Tabellen für Photogr. 1927, S. 25).

Die modernen panchromatischen Platten und Filme schleiern häufig mit den gewöhnlichen Metol-Hydrochinon-Entwicklern, arbeiten aber klar, wenn man ihnen den bekannten Desensibilisator Pinakryptolgrün beimischt, wie dies auch in der photographischen Praxis üblich ist. Ein solcher guter Entwickler ist von der Agfa angegeben und besteht aus: Metol, wasserfreiem Natriumsulfit, Hydrochinon, wasserfreiem Natriumkarbonat, etwas Kaliummetabisulfit und Bromkalium. Zu 1000 ccm des gebrauchsfertigen Metol-Hydrochinon-Entwickler werden 50 ccm einer Pinakryptolgrün-Lösung (1:500), zugesetzt.

Der Desensibilisator wirkt der Schleierbildung entgegen, vermindert jedoch etwas den Schwellenwert.

Unter Umständen kann die Verwendung von Spezialentwicklern zur Erzielung feinkörniger Kino-Negativ-Filme von Nutzen sein. Hierfür empfiehlt die Eastman-Kodak Co. einen Metol-Borax-Entwickler, bestehend aus 2 g Metol, 100 g wasserfreies Natriumsulfit, 5 g Hydrochinon und 2 g Borax; Auffüllen mit Wasser auf das Volumen von 1000 ccm. — Man löst zunächst das Metol in einem kleinen Volume warmen Wassers (55° C). Ferner löst man ungefähr ein Viertel der vorgeschriebenen Menge des Sulfits in heißem Wasser (ungefähr 75° C) und fügt das Hydrochinon hinzu. Diese Lösung gießt man zu der Lösung des Metols. Schließlich löst man den Rest des Sulfits und des Borax auf, fügt dies zu der Lösung der Entwicklersubstanzen und füllt mit Wasser bis zu dem Volumen von 1000 ccm auf (Phot. Industr. 1927, S. 761; aus Science et Industr. phot., Bd. VII, 1927, S. 46).

Eine andere Versuchsreihe von Jones, Hall u. Briggs gibt Vergleiche verschiedener Entwickler. Die Kurven (Abb. 57 und 58) zeigen die Gra-

dation mit variierten Entwicklerarten an Bromsilber-Diapositivplatten; am weichsten arbeitet der Entwickler aus salzsaurem Paramidophenol, Natriumkarbonat, Natrium-Sulfit und ein wenig Bromkalium. (L. A. Jones, V. C. Hall und R. M. Briggs, „On the Relation between Time and Intensity in Photographic Exposure". Jour. Opt. Soc. Amer. 1927, Band XIV, S. 223.)

Man kann mit allen diesen Entwicklern bei entsprechend langer Entwicklungsdauer praktisch dieselbe Dichte der Negative erlangen; bei Eisenoxalat erfolgt die Dichtezunahme am langsamsten und wird erst nach etwa einer Stunde groß. Wie man sieht, ist die Gradation eine sehr verschiedene.

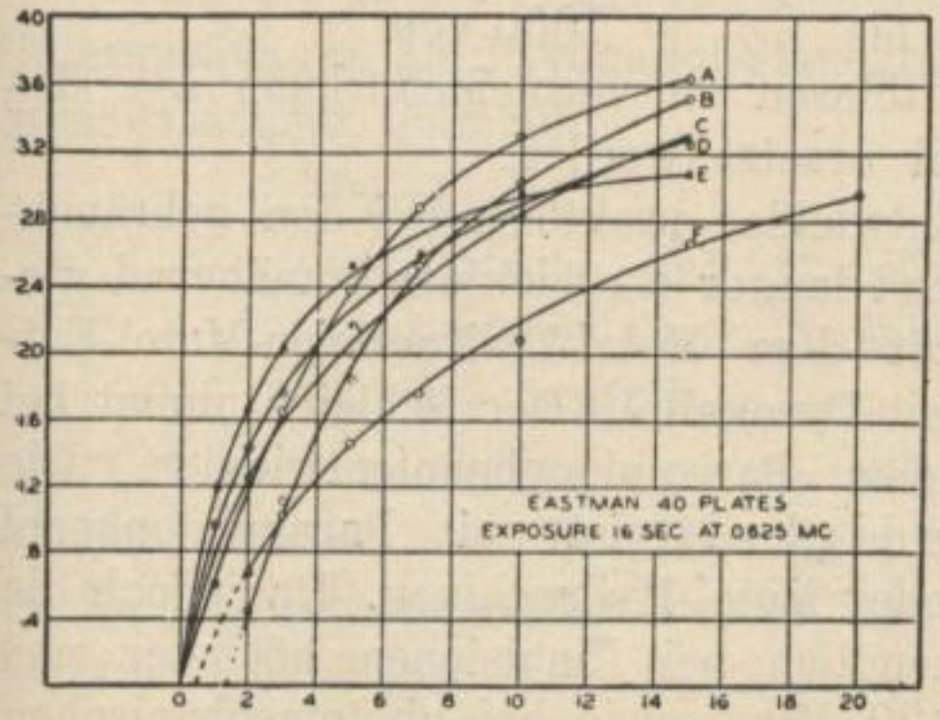


Abb. 57.
Dichte-Entwicklerzeit-Kurven verschiedener Entwickler für Porträtplatten.
A) Pyrogallol, B) Hydrochinon, C) Paramidophenol, D) Metol, F) Eisenoxalat, — Belichtung 0,625 M. K. S. (nach Jones, Hall u. Briggs).

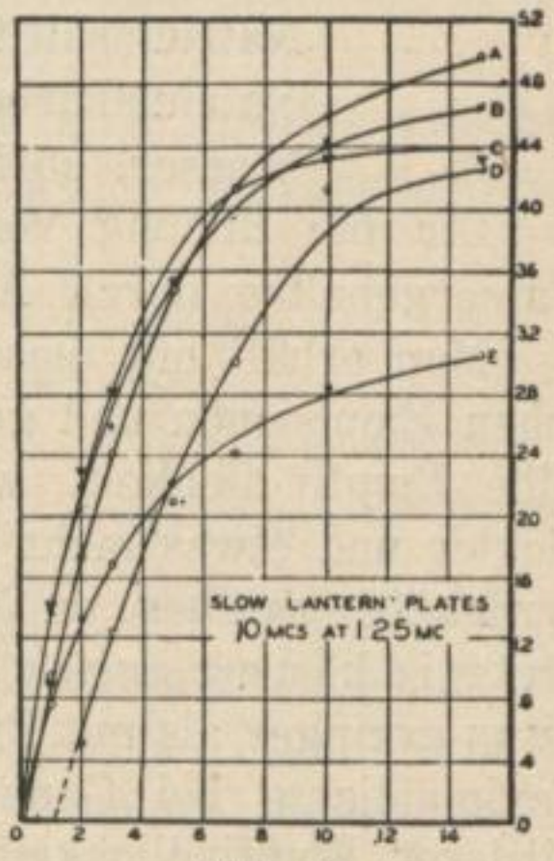


Abb. 58.
Dichte-Entwicklerzeit-Kurven für wenig empfindliche Laternenplatten.
A) Pyrogallol, B) Amidol, C) Metol, D) Hydrochinon, E) Paramidophenol (nach Jones, Hall und Briggs).

Physikalische Entwicklung nach dem Fixieren.

Die Gesetze der photographischen Schwärzung für physikalische Entwicklung von Bromsilber-Gelatineplatten nach der Methode Lumiere und Seyewetz mittels eines Niederschlages von Quecksilber untersuchten M. Hanot und H. Guillemet (Revue Optic, September 1928; Science Industrie Phot. 1928, S. 225).

Man kann mit der physikalischen Quecksilber-Entwicklung bei sehr verlängerter Belichtungszeit für Gamma den Wert 6 erhalten, aber bei der Entwicklung zu gleicher Dichte ist die gewöhnliche chemische Entwicklung überlegen der physikalischen Quecksilber-Entwicklung nach dem Fixieren. Vergl. hierüber auch Bd. II dieses „Handbuches" von Lüppo-Cramer „Einleitung in die Negativverfahren".

Paramidophenol — Entwickler für Sensitometrie.

Das Paraamidophenolhydrochlorid (salzsaures Paraamidophenol) ist leicht rein herzustellen, gibt neutralgraue und schwarze Silber-

niederschläge, wird von Bromid wenig beeinflußt und gibt unverzerrte charakteristische Kurven. Mit Hinweis auf diese Vorzüge schlugen S. E. Sheppard und A. P. H. Trivelli am VII. Internationalen Photogr. Kongreß in London (1928) den Paraamidophenol-Entwickler mit Natriumkarbonat als einen Standardentwickler für Sensitometrie von Bromsilbergelatineplatten mit nachstehender Zusammensetzung auf:

Salzsaures Paraamidophenol	7,25 g
Natriumsulfit (wasserfrei)	50 g
Natriumkarbonat (wasserfrei)	50 g
Wasser, auffüllen bis	1000 ccm

Um die Bildung von Luftblasen zu vermeiden, kann 5% des Wassergehaltes durch Alkohol ersetzt werden.

Man erhält mit diesem Entwickler praktisch bei den gebräuchlichen Emulsionen und genügend langer Entwicklung annähernd dieselbe Empfindlichkeit, wie mit dem Metol-Hydrochinon-Metol-Entwickler und etwas mehr als mit Pyrogallol. Der Schleier nimmt bei Pyrogallol rascher zu als mit dem Paraamidophenolentwickler. Die Entwicklungsgeschwindigkeit ist mit Paraamidophenol etwas geringer als mit Pyro- oder Metol-Hydrochinon. Da jedoch die Maximaldichte bei Gamma-unendlich bei Emulsionen höchster und mittlerer Empfindlichkeit bei 20 Min. sowie bei photomechanischen Platten schon in 16 Minuten erreicht wird, so arbeitet er als Standard-Entwickler nicht allzu langsam (Phot. Indust. 1928. S. 805).

Pyrogallol-Entwickler.

Als langsam wirkender Entwickler kommt der Pyrogallol-Soda-Entwickler in Betracht. Es ist ein guter Entwickler, der die Gradation sehr gut wiedergibt und namentlich beim Studium der stärkeren Schwärzungsgrade nicht vernachlässigt werden soll, worauf schon Hurter & Driffield aufmerksam machten. — Eder benützte bei seinen sensitometrischen Untersuchungen einen Pyro-Entwickler von folgender Zusammensetzung:

A.	Wasser	1000 ccm,
	Kristallisiertes Natriumsulfit	200 g,
	Natriumbisulfit (wasserfrei)	1 g,
	Pyrogallol	28 g.
B.	Kristallisiertes Natriumkarbonat	100 ,
	Wasser	1000 ccm.

1) Sheppard u. Trivelli, Entwickler für Zwecke der Sensitometrie (Kinotechnik, 1928, S. 622).

Die Lösung A gewinnt an Haltbarkeit, wenn man sie mit ausgekochtem Wasser herstellt und nach dem völligen Erkalten das Pyrogallol zuletzt zusetzt.

Man mischt:

20 ccm Sodalösung,
20 „ Pyrolösung
und 20 „ Wasser.

Temperatur 18° C. Entwicklungsdauer länger als bei Metol (s. S. 133 und 141). Saures Fixierbad.

Hurter & Driffield benützten für ihre sensitometrischen Untersuchungen als Pyrogallol-Standard-Entwickler eine ähnliche Zusammensetzung, nämlich:

Pyrogallol	8 g,
wasserfreies Natriumsulfit	20 g,
wasserfreies Natriumkarbonat	15 g,
Wasser, Auffüllen auf	1000 ccm.

Es ist zu bemerken, daß die Wirksamkeit des Pyrogallol-Entwicklers stärker von Veränderungen der Temperatur abhängt als der Metol-Hydrochinon-Entwickler und in höherem Grade der verzögernden Wirkung einer Beimischung von Bromiden unterliegt. —

Der auch am VI. Photogr. Kongreß in Paris (1925) neuerdings empfohlene Pyrogallol-Standard-Entwickler zeigt aber den Nachteil, daß er ein bräunlich gefärbtes Silberbild gibt und in der Praxis wenig gebraucht wird, weshalb der VII. Kongreß (London 1928) den Paraamidophenol-Entwickler vorzog.

Eders Normal-Entwickler mit Eisenoxalat.

Ein guter, aber weniger energischer Normal-Entwickler ist der Edersche Eisen-Oxalat-Entwickler. Er hat folgende Zusammensetzung:

a)	Neutrales Kaliumoxalat	100 g,
	Wasser	400 ccm.
b)	Eisenvitriol	100 g,
	Wasser	300 ccm,
	Konzentrierte Schwefelsäure	5 g Tropfen.

Man mischt unmittelbar vor dem Gebrauche 4 Teile der Oxalatlösung (a) unnd 1 Teil der Eisenlösung (b). Zusatz von Bromkaliumlösung soll beim normalen Eisenoxalat-Entwickler unterbleiben, weil normale Platten auch ohne diesen Zusatz sich klar entwickeln lassen. Temperatur 18° C.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Energie des Eisenoxalat-Entwicklers sinkt in der Kälte beträchtlich. Er ist sofort nach dem Mischen zu verarbeiten, weil seine Wirkung durch Oxydation an der Luft rasch abnimmt. Bromkalium-Zusatz wirkt sehr verzögernd. — Der Eisenoxalat-Entwickler gibt reines grauschwarzes Silber, der Schwellenwert ist meist größer als mit Metol-Entwickler (liefert also geringere Empfindlichkeit), auch nimmt die Schwärzung langsamer zu, weshalb man die Entwicklung bis 10 Minuten und mehr ausdehnen kann.

Für gewöhnlich wird der Eisenoxalat-Entwickler in der Sensitometrie wenig verwendet. Er ist jedoch der einzige Entwickler, welcher frei von den Fehlern des sogenannten Nachbar-Effektes (s. diesen 149) ist, was für strenge astrophotometrische Untersuchungen sehr beachtenswert ist.

Saurer Amidol-Entwickler.

Wird der Amidol-Entwickler etwas mit Bisulfit angesäuert, so entwickelt er langsam, aber sehr klar, was namentlich bei etwas schleierigen panchromatischen Platten (Pinachrom, Pinazyanol, Dizyanin, Pinachromviolett, Pinaflavol) günstig zur Geltung kommt.

Man löst 1 g Amidol, 8 g kristallisiertes Natriumsulfit in 200 ccm Wasser und setzt 1 g wasserfreies Natriumbisulfit zu. Das Gemisch hält sich nicht lange.

Die Belichtungszeit muß wesentlich länger als bei den anderen gewöhnlichen Entwicklern genommen werden, denn der Schwellenwert ist größer, d. h. die Empfindlichkeit kleiner.

Entwicklungs-Geschwindigkeit.

Die Entwicklungsgeschwindigkeit pflegt man nach der Zeit des ersten Erscheinens von Bildspuren (in Sensitometerskalen) zu messen. Sie ist proportional der Konzentration des reduzierenden Entwicklerions. Für die Abhängigkeit der Entwicklungsgeschwindigkeit von der Alkalikonzentration organischer Entwickler ist die OH-Konzentration maßgebend; es steigt die Geschwindigkeit beim Entwickeln annähernd proportional mit der steigenden OH-Ionenkonzentration und geht für die meisten Entwicklersubstanzen durch ein Maximum (Sheppard und Mees, Theorie d. phot. Prozesses). Dieses Maximum wird z. B. erreicht, wenn auf 1 Molekül Hydrochinon oder Pyrogallol 2 Moleküle Ätznatron (NaOH) kommen. Zu einem Maß für die Stärke eines Entwicklers hat A. H. Nietz (Phot. Jour. 1920, Bd. 60) den Grad der Verzögerung der Entwicklungs-

geschwindigkeit durch Zusatz einer bestimmten Menge von Bromkalium aufgestellt.

Einfluß eines Zusatzes von Bromiden zum Entwickler auf die Inertia und Entwicklungs-Geschwindigkeit.

Das Gamma (die Gradation) hängt nicht nur von der Zeitdauer sondern auch von der Art der Entwicklung ab; nicht nur von seiner Zusammensetzung der eigentlichen Entwicklersubstanzen, sondern auch von dem Gehalt an löslichen Bromiden (Bromkalium usw.) und von manchen anderen Zusätzen, die teils die Entwicklung verlangsamen, teils beschleunigen.

A. H. Nietz (Monographie Nr. 2, „Theorie of Photography, from Research Laboratory of the Eastman Kodak Co." 1922) zeigte, daß für einen gegebenen Entwickler der Schnittpunkt des geraden Teiles der Schwärzungskurve mit log E Achse (Inertia) sich ändert, wenn lösliche Bromide zugegen sind, sei es im Entwickler oder in der Platte; die Position des Schnittpunktes wird auch beeinflußt durch das Auftreten von löslichen Bromiden im Entwickler, während des Entwicklungsprozesses, die aus dem reduzierten Bromsilber stammen.

Es ändert sich hierdurch die sog. „Inertia" Hurters und damit auch die „Empfindlichkeitsanzeige" nach dem System Hurter und Driffields, was zu groben Fehlern und Abweichungen in der Angabe der Empfindlichkeit nach diesem System führt, aber von den Vertretern dieses Systemes außer acht gelassen wird, wodurch die Bewertung der Empfindlichkeit der Platten für Handel und Verkehr in England nach diesem System eine sehr fragwürdige wird. — Sehr genau sind die Vorgänge bei der Entwicklung und Einfluß der Bromide beschrieben von Sheppard und Mees in ihren „Untersuchungen über die Theorie des photographischen Prozesses". Deutsche Übersetzung 1912, W. Knapp.

Wenn der Entwickler ein niedriges Potential hat, so vermindert Bromkaliumzusatz mehr die Dichte, als bei hohem Potential. Das Maximum der erreichbaren Kontraste im entwickeltem Negativ hängt aber nicht unmittelbar mit dem Entwicklerpotential zusammen. Die Entwickler mit Amidophenol sind am energischesten, dann folgen die Polyphenole, dann die Polyamine. Die Methylgruppe im Kerne oder in der Amidogruppe vermehrt die Energie, die Gruppe $CH_2 \cdot OH$ im Glyzin vermindert die Energie (vgl. auch Phot. Korr. 1921, S. 11). Diese Details gehören in das Gebiet der Chemie der Entwicklersubstanzen, die sehr eingehend von Dr. M. Andresen in dem Bd. III dieses „Handbuches" beschrieben ist (Andresen „Die Chemie der organischen Entwicklersubstanzen". 1929.)

Der verzögernde Einfluß des Bromkaliums im Entwickler ist in geringen Konzentrationen (n/1000 bis n/100, d. i. tausendstel bis hundertstel normal), nach Sheppard und Mees[1]), für eine bestimmte Exposition angenähert dem Logarithmus der Bromidkonzentration proportional. Und zwar entsprechend der Formel

$$Tr = Té - Te = \frac{k \cdot \lg (Br')}{\lg \varepsilon},$$

1) Sheppard u. Mees, Theorie d. phot. Prozesses 1912, S. 123.

wobei

Tr = Verzögerung,
Té = Zeit des ersten Erscheinens für Entwicklung ohne KBr,
Te = Zeit des ersten Erscheinens für Entwicklung mit KBr,
ε = Exposition,
k = Konstante

bedeuten.

Für hohe Brom-Konzentrationen (Br′) nähert sich die Entwicklungsgeschwindigkeit einem Grenzwerte (Meidinger, Zeitschr. f. physik. Chemie. 1925. Bd. 114. S. 96).

Einfluß der Verdünnung des Entwicklers.

Sehr stark verdünnte Entwickler wirken sehr langsam (sogenannte „Standentwickler"), geben sehr zarte Negative und langsam ansteigendes Gamma, was in der praktischen angewandten Photographie allgemein bekannt ist.

Nach sehr langer Entwicklung kommt man auch mit den stark verdünnten Standentwicklern allmählich auf ungefähr denselben Schwellenwert, wie mit den viel konzentrierteren Normal-Entwicklern, aber das Gamma bleibt kleiner (die Gradation ist weicher).

A. H. Nietz und Raymond A. Whitaker[1]) untersuchten den Zusammenhang der Verdünnung photographischer Entwickler für Bromsilbergelatine mit Bezug auf Entwicklungsdauer und Schwärzungskurven. Es besteht im allgemeinen eine einfache Beziehung. Z. B.: Ein Entwickler von bestimmter Konzentration braucht 3 Minuten Entwicklungsdauer; bei Verdünnung zu $^1/_4$ dieser Konzentration wird er viermal längere Zeit brauchen, also 12 Minuten. Man kann dies allgemein durch die Gleichung

$$T_{Entw.} = K.\ Dil.$$

worin $T_{Entw.}$ die Entwicklungsdauer bezeichnet. — K ist eine Konstante und Dil. ist die Verdünnung (Dilution). Man kann dies auch schreiben:

$$C \cdot T_{Entw.} = K,$$

worin C die relative Konzentration des Entwicklers ist.

Diese allgemeine Formel erleidet aber je nach der Zusammensetzung der Entwicklerlösungen und der Größe der Konzentration und anderen Faktoren Abweichungen. Den allgemeinen Effekt der

1) Nietz und Whitaker, Some effects of Dilution and stirring of a photogr. Developer. (Jour. of the Franklin Inst. April 1927. — Mitt. Nr. 288 der Eastman-Kodak Research Laboratory.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Verdünnung auf die Schwärzung der Negative drücken Nietz und Whitaker durch die in Abb. 59 dargestellte Kurve aus, welche auf die Dichte der Negative und den Logarithmus der Verdünnung bezogen ist. Es zeigt sich in der Regel, daß die gebräuchlichen Entwicklerkonzentrationen zunächst bei geringer Verdünnung einen Anstieg der Dichte (Schwärzung) ergaben, der mehr oder weniger bald ein Maximum erreicht und bei starker Verdünnung progressiv geringere Schwärzungen ergibt, was jeder Photograph aus Erfahrung weiß. Die verschiedenen Faktoren, welche Abweichungen herbeiführen können sind: 1. Verschiedener Penetrationseffekt (Eindringen des Entwicklers), Gerbung der Gelatine und lokale Erschöpfung der Entwickler. — 2. Penetrationseffekt durch Anschwellen der Gelatine. — 3. Effekt eines Überschusses des Reduk-

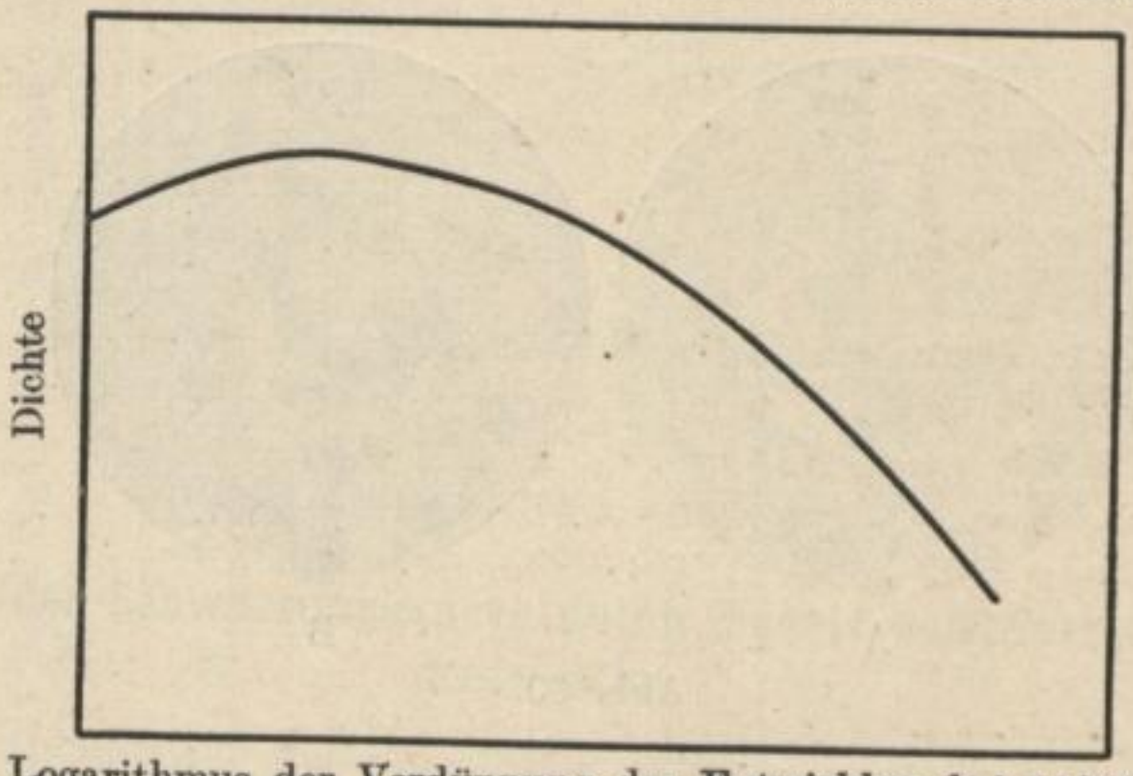


Abb. 59. Einfluß der Verdünnung des Entwicklers auf die Dichte der Negative (nach Nietz und Whitaker).

tionsmittels. — 4. Luftoxydation stark verdünnter Entwickler. — 5. Mögliche Schwankung der Reduktions-Energie mit der Konzentration. — 6. Hydrolyse. — 7. Effekt des Umrührens der Entwicklerflüssigkeit.

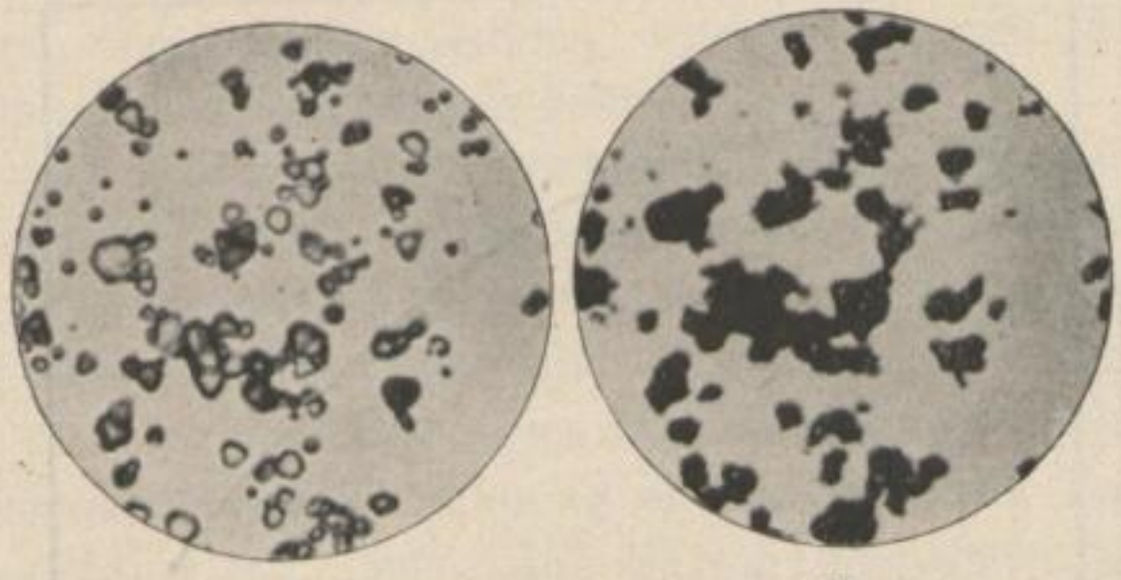
Zusammenhang der Körnigkeit von Bromsilbergelatine-Negativen mit der Art der Entwicklung und den sensitometrischen Konstanten, besonders dem Gamma.

Die Faktoren, welche die Körnigkeit eines auf einer bestimmten Emulsion hergestellten Bildes bedingen, stellten L. A. Jones und N. Deisch (Journ. Franklin Inst. 1920. 190. 657), sowie A. C. Hardy und L. A. Jones (1922; s. F. E. Roß „Die Physik des

entwickelten Bildes". Monographie der Eastman-Kodak Co. 1924. 2. Kapitel) Versuche an, die J. I. Crabtree fortsetzte. Bei allen Emulsionen nimmt die Körnigkeit eines Silberniederschlages mit dessen steigender Dichte bis zu einem Maximum bei der Dichte 0.3 zu.

Ferner nimmt die Körnigkeit bei konstantem Entwicklungsgrad mit steigender Expositionszeit des Negatives in der Kamera zu. — Auch können Selbstzersetzungen von Nitrofilm-Negativen, die lange Zeit zwischen Exposition und Entwicklung liegen, steigende Körnigkeit veranlassen.

Der Entwickler übt auf das Korn einen Einfluß aus. Nach Capstaff geben Entwickler mit hohem Sulfit- und geringem Alkaligehalt feineres Korn (s. den Metol-Hydrochinon-Entwickler).



A B

Abb. 60.

Abb. 60 A zeigt die Anhäufung von Bromsilberkörnchen vor der Entwicklung, B nach der Entwicklung, wo die Silberkörner zusammenwachsen (Capstaff).

Die maximale Körnigkeit eines Kino-Diapositivfilms nimmt mit der steigenden Dichte des Negativs, von dem er kopiert ist, zu. Der Zuwachs an Körnigkeit erfolgt am schnellsten bis zu Negativdichten 0,8; darüber hinaus nimmt die Körnigkeit nur wenig zu. Dieser relative Effekt der verschiedenen Negativdichten auf die relative Körnigkeit des Positivfilms wird in Abb. 61 gezeigt. Hiernach neigt, unter sonst gleichen Bedingungen, eine Erhöhung der Exposition des Negativs, die ihrerseits wieder die Dichte der verschiedenen Halbtöne erhöht, zur Steigerung der Körnigkeit von gegebenem Dichtekontrast.

Bei einem Negativ von gegebenem Dichtekontrast, das einen hohen Entwicklungsgrad erhalten hat, ist das Maximum der Körnig-

keit der von ihm hergestellten Positivkopie größer als bei einer gleichwertigen Kopie von einem korrespondierendem Negativ, das einen niedrigen Entwicklungsgrad erhalten hat.

Duplikate zeigen gewöhnlich steigende Körnigkeit; feinkörnige Emulsionen von hohem Auflösungsvermögen, die einen gelben Farbstoff enthalten und dadurch besseres Auflösungsvermögen erhalten, eignen sich speziell für Duplikate in der Filmindustrie.

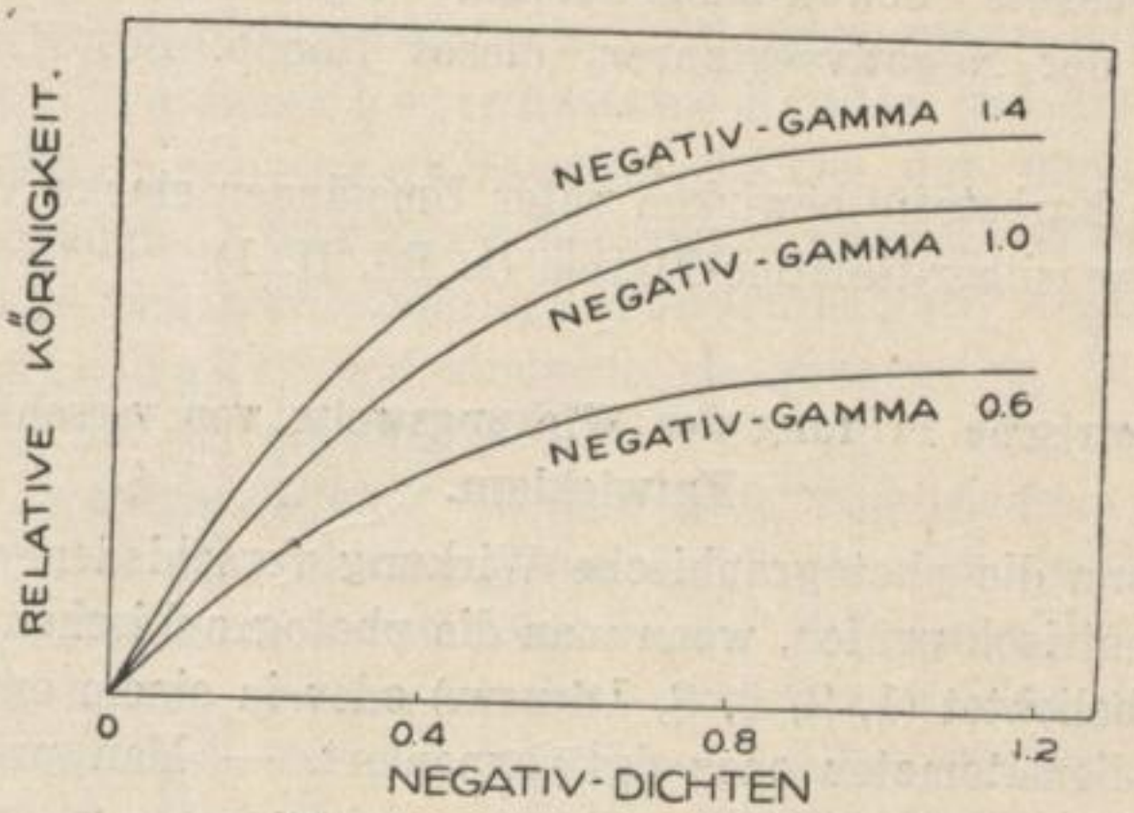


Abb. 61. (nach Capstaff.)

Änderung der Schwärzungskurve durch Zusatz von Farbstoffen im Entwickler.

Unter Umständen können Zusätze von Farbstoffen zum Entwickler bei Bromsilbergelatine die Entwicklungsgeschwindigkeit und die Gradation sowie die scheinbare Empfindlichkeit beeinflussen oder mit anderen Worten die Schwärzungskurve verändern.

So beschleunigt ein Vorbad von wässerigem Chrysanilin die Entwicklungsgeschwindigkeit des Eisenoxalatentwicklers bei Bromsilbergelatine und zwar über den ganzen Spektralbezirk der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers (ohne selektive Farbenwirkung, wie Eder 1884 beobachtet hatte[1]). Die Wirkung ist analog der beschleunigenden Wirkung von sehr geringen Mengen Fixiernatron im Eisenoxalatentwickler, der die Details in den Schatten rascher zum Erscheinen bringt und weichere Bilder liefert, oder — wie man sich gegenwärtig ausdrückt —, beide vermindern den Schwellenwert

1) Eder, Über das Verhalten der Haloidverbindungen des Silbers gegen das Sonnenspektrum. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. 1884. — Abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie u. Spektralanalyse, 1904. III. S. 34.

und vermindern das Gamma in den Schwärzungskurven (Gegensatz zum Bromidzusatz, der verzögert und das Gamma erhöht). Die Entwicklungs-Beeinflussung durch Farbstoffe studierte Lüppo-Cramer in neuerer Zeit an zahireichen Beispielen (Phot. Korr. 1927, S. 242). Er fand, daß der beschleunigende Einfluß vieler Farbstoffe auf die Entwicklung mit Hydrochinon so groß ist, daß dieser langsam arbeitende Entwickler zu einem Rapidentwickler wird und gibt dazu interessante Schwärzungskurven. Vgl. Lüppo-Cramer, Grundlagen der Negativverfahren, dieses Handb. Bd. II, 1, 1927, S. 376.

Manche Farbstoffe bewirken unter Umständen starke Verschleierung der Bromsilber-Gelatine-Platten (s. Bd. II, 1).

Sensitometrische Prüfung der Wirkungsweise von verschiedenen Entwicklern.

Man kann die photographische Wirkung verschiedener Entwickler sensitometrisch prüfen, wenn man die photographischen Schichten progressiv belichtet (1, 2, 4, 8, 16 usw.) oder in einem entsprechenden Skalen-Sensitometer oder dgl. exponiert. — Man prüft:

1. Die Zeit des Erscheinens der ersten Bildspur im Zusammenhange mit der normalen Gradation,
2. die Zeit der Entwicklung bis zur Erreichung der Maximaldichte, (eventuell bis zum Gamma = 1),
3. die Energie des Entwicklers beim Schwellenwert und bei der Maximalbelichtung,
4. Größe des Schleiers bei steigender Entwicklungsdauer,
5. Haltbarkeit des Entwicklers, Widerstandsfähigkeit gegen Oxydation an der Luft, Ermüdung nach der Entwicklung einer größeren Zahl photographischer Platten im selben Entwickler,
6. Färbung des Silberniederschlages, sowie visuelle und photographische Deckkraft desselben,
7. Effekt von Verdünnung, Temperatur, Zusatz von Bromkalium und anderen Entwicklerbestandteilen [1]),
8. Einfluß auf die Korngröße des Silberniederschlages, das Auflösungsvermögen und den Nachbareffekt beim Entwickeln.

---

1) Über verschiedene Effekte, die sich zeigen, wenn ein photogr. Entwickler verdünnt oder geschüttelt wird, s. A. H. Nietz und Raymond A. Whitaker (Mitteilg. d. Eastman-Kodak-Co.; Phot. Korresp. 1927, S. 137).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Der Nachbar-Effekt oder die seitliche Ausdehnung des Bildes während der Entwicklung.

Schon zur Zeit des nassen Kollodiumverfahrens beobachtete man die seitliche Verbreiterung des Silberbildes während längerer Entwicklung (s. dieses Handbuch, II. Bd., 2. Aufl., 1898, S. 90).

Bei Bromsilbergelatineplatten studierte Eberhard am astrophysikalischen Observatorium in Potsdam (1922) diese Erscheinung. Sie besteht darin, daß die Schwärzung einer belichteten Stelle nicht allein vom einwirkenden Lichte, sondern bis zu einem gewissen Grade von der Größe dieser belichteten Stelle und der Beschaffenheit (Größe) der benachbarten Teile der photographischen Schicht abhängt. Eberhard bezeichnet diese Erscheinung, die er insbesondere bei astronomischen Sternaufnahmen beobachtete, als „Nachbareffekt“ und studierte sie genauer im Zusammenhang mit der Art der Entwicklungen[1]).

Der „Nachbar-Effekt“ ist bei allen Emulsionssorten ziemlich gleich, ist aber sehr abhängig von der Dicke der Emulsionsschicht, mit der er steigt. — Je stärker die zur Belichtung benützte Lichtmenge ist, um so größer ist der „Nachbar-Effekt“; die Erscheinung ist somit von der Schwärzung selbst abhängig. Eine Vorbelichtung, Nachbelichtung oder ein Plattenschleier verringert den „Nachbar-Effekt“. Bei sehr kurzer Entwicklungszeit ist der „Nachbar-Effekt“ zunächst klein, wächst beim weiteren Entwickeln und wird dann stationär. — Alle gebräuchlichen organischen Entwickler, verdünnte Entwickler oder das Vermischen von Entwicklern mit altem, schon gebrauchten Entwickler, insbesondere der Zusatz von Natrium-Sulfit und großen Mengen von Bromkalium vermehren den „Nachbareffekt“. Nach Eberhard beruht diese Erscheinung auf einem Entwickler-Effekt und rührt von der Auflösung des Bromsilbers durch das Natriumsulfit des Entwicklers her, welcher Silberionen in Lösung bringt und bei verlängerter Entwicklung am Negativ wieder ausscheidet. Streicht der Entwickler über eine große Silberfläche, so wird die Flüssigkeit eher an Silber erschöpft werden, als beim Überstreichen einer kleinen Silberfläche, diese wird daher eine größere Schwärze erhalten als die große Fläche. — Diese Erscheinung erschwert die Photometrie verschieden großer Bildflächen, was z. B. bei der Photometrie der Sterne in der Astrophotographie zu Fehlern führt. — Nachdem Eberhard die Ursache des Fehlers

1) Phot. Korr. 1922, S. 15.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

gefunden hatte, ermittelte er auch ein Mittel, um ihn zum Verschwinden zu bringen. Eberhard fand, daß der Edersche Eisenoxalat-Entwickler (s. Seite 141) auf allen Platten die kleinen Bilder genau wie die großen mit gleichen Schwärzungen liefert und der „Nachbar-Effekt“ völlig zum Verschwinden gebracht wird. Zusatz geringer Mengen schon gebrauchten Eisenentwicklers erhöht die Sicherheit und gibt besonders reine Platten.

Das praktische Ergebnis dieser Untersuchung ist nach Eberhard die Forderung, daß bei allen exakten photographisch-photometrischen Messungen zur Entwicklung der Platten ausschließlich der Edersche Eisenoxalat-Entwickler zu verwenden ist.

Einfluß des Nachbar-Effektes auf die Bestimmung der Schwärzungskurve.

Mißt man die Schwärzung einer breiten zusammenhängenden Schwärzungsskala mit genauen Schwärzungsmessern und vergleicht die Befunde mit kleinen Feldern (durch Abdecken mit kleinen Loch-Schablonen) der analogen Exposition, so findet man bei ersteren in den dichten Partien etwas geringere Dichtewerte als an jenen kleinen schwarzen Feldern, die isoliert auf durchsichtigem Grunde stehen. Dies tritt bei sulfithaltigen organischen Entwicklern mehr oder weniger bemerklich auf. Nichtsdestoweniger pflegt man die Schwärzungsmessungen durchzuführen, unbekümmert um diese kleinen Unregelmäßigkeiten an den breiteren Schwärzungsfeldern, weil für technische Zwecke eventuelle kleine Ablesungsfehler nicht ins Gewicht fallen; überdies ist bei Naturaufnahmen in der Regel ebenfalls eine breite Schwärzungsfläche vorhanden, so daß die Verhältnisse ähnliche sind. — Bei Strichreproduktionen wird man allerdings auch in der Praxis etwas günstigere Schwärzungsablesungen mit dem Mikrophotometer an den schmalen Strichen machen, was aber kaum zu Fehlschlüssen bei der Charakteristik der Platten Veranlassung gibt.

Wirkung von Desensibilisatoren.

Die Wirkung der zu großer Bedeutung gelangten Densibilisatoren bei der Hellichtentwicklung kann nur auf sensitometrischem Wege scharf erfaßt werden, um ihren Einfluß auf Verhinderung von Lichtschleiern und auf die Empfindlichkeit, Gradation und Schleierbildung zu erkennen. Hierüber wird im XXIII. Kapitel berichtet — (S. ferner Lüppo-Cramer „Grundlagen der photographischen

Negativ-Verfahren“ 1927, Bd. II von Eders „Ausführlichem Handbuch der Photographie“.)

Über den Einfluß von Desensibilisatoren (Pinakryptolgrün und Phenosafranin) auf den Schwellenwert und die Schwärzungskurven stellte O. Papesch (Phot. Korresp. 1928, S. 236) eingehende Versuche an. Sie drücken meist die Schwellenwert-Empfindlichkeit etwas herab, erhöhen aber die Klarheit und sind der Detailzeichnung in den hohen Lichtern günstig. (Vgl. Metol-Hydrochinon-Entwickler mit Pinakryptolgrünzusatz S. 138.)

NEUNTES KAPITEL.

MATHEMATISCHE DARSTELLUNG DER SCHWÄRZUNGSVORGÄNGE IM ZUSAMMENHANGE MIT DER ENTWICKLUNGSDAUER.

Hurter und Driffield fanden, daß (grob annähernd) die Dichten der Negative in einem gewissen Umfange in der Periode der normalen Exposition in arithmetrischer Reihe wachsen, wenn man eine in einer geometrischen Reihe zunehmende Anzahl von Expositionen auf eine Platte bringt (s. V. Kapitel).

Für den geradlinigen Teil der Schwärzungskurve in der Periode der normalen Exposition kann für eine einzelne Dichte die Gleichung

$$D = \gamma \, (log \, E - log \, i)$$

gelten, wie Sheppard und Mees[1]) nachweisen.

In dieser Formel bedeutet E die Exposition, i die Inertia (eine charakteristische Plattenkonstante) und γ (Gamma) den Entwicklungsfaktor (Entwicklungskonstante). Gamma (γ) ist deshalb ausgedrückt durch die Gleichung

$$\gamma = \frac{d\,D}{d\,log\,E}$$

Das Gamma ist von der Entwicklung abhängig und wird als unabhängig von der absoluten Lichtintensität angenommen, allerdings nur in gewissen Grenzen (s. S. 46).

Die Zusammenhänge der Dichte (D) eines Negatives bei einer bestimmten Entwicklungszeit (t) und der bei extrem langer Entwicklungszeit erreichten Dichte ($D\,\infty$, Dichte unendlich) werden nach Sheppard und Mees[2]) durch nachfolgende Gleichung ausgedrückt, wobei sie sich an Hurter und Driffields Ansichten anschließen:

$$D_t = D\,\infty \, (1 - e^{-kt}),$$

---

1) Abridged Scient. Public. Research Lab. Eastman Kodak 1913 bis 1914, S. 7, Sheppard und Mees, Untersuchungen über die Theorie des phot. Prozesses, 1912, Knapp in Halle, ferner Nietz (1922).

2) Sheppard & Mees, Untersuchungen über die Theorie des photographischen Prozesses 1912, W. Knapp in Halle a. d. Saale, 1912, Seite 59.

worin k eine Konstante bedeutet (die z. B. für gewöhnliche Platten 0,02, für panchromatische Platten 0,026), D_t die Dichte nach einer bestimmten Belichtungszeit t und $D\infty$ die größte bei sehr langer Entwicklungsdauer erreichte Dichte; e ist die Basis der natürlichen Logarithmen. Die Bestimmung der Konstante k kann nach der Gleichung

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{D\infty}{D\infty - D_t}$$

ermittelt werden. (k ist die Konstante der jeweiligen Entwickler-Schnelligkeit.) Diese Regeln gelten nur für Entwicklungsgemische ohne Bromkaliumzusatz; denn das Bromid wirkt als Verzögerer und beeinflußt stark die Induktionsperiode (Anfangswirkung des Lichtes, s. Seite 27).

Dieselbe Gleichung nimmt A. H. Nietz in seiner Monographie „The theory of developement", Eastman Kodak Co., Rochester 1922, an, gibt aber dieser Gleichung der Entwicklungsgeschwindigkeit eine andere Form, nämlich

$$D = D\infty \ (1 - e^{-k \log t/t_o})$$

In dieser Gleichung bedeutet D die gesuchte Dichte der während einer gewissen Zeit (t) entwickelten Platte, $D\infty$ die Dichte (Schwärzung) bei sehr langer Entwicklung der Bromsilberplatte, t die gegebene längere oder kürzere Entwicklungszeit, k die Entwicklerkonstante (abhängig von der Schnelligkeit des Entwicklers), to die Induktionsperiode (Schwellenwert auf der $log\ E$ Achse), e Basis der natürlichen Logarithmen. — Ein Beispiel, in der Nietz für $k = 0{,}58$, für $D\infty = 2{,}80$, $to = 0{,}35$ fand, gibt eine gute Übereinstimmung seiner Beobachtungen und Berechnungen.

Der Entwicklungsfaktor „Gamma", der auch die Gradation ausdrückt, ist daher zu der Dichte D streng proportional, weil für eine einzelne Dichte der Ausdruck (obige Gleichung) konstant ist. — Da aber

$$D = D\infty \ (1 - e^{-kt})$$

ist, so ist

$$\gamma = \gamma\infty \ (1 - e^{-kt})$$

wo Gamma (γ) die Gradation bei der Entwicklungszeit t und $\gamma\infty$ das Gamma bei einer extremen langen Entwicklungszeit ist, über welche die Schwärzung nicht mehr zunimmt; e ist die Basis der natürlichen Logarithmen. Diese Gleichung gibt die Beziehungen zwischen Gamma und der Entwicklungsdauer.

D ist direkt proportional dem Gamma. Dann ist die Geschwin-

digkeits-Konstante (k) für die Wirkung eines Entwicklers (Journ. Amer. Chem. Soc. Nov. 1913; Abridg. Scient. Public. Research Lab. Eastman 1913—14, S. 7) nach der Gleichung von C. E. K. Mees durch folgende Formel ausdrückbar:

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{\gamma \infty}{\gamma \infty - \gamma}.$$

In dieser Formel bedeutet t jene Entwicklerzeit, die zur Hervorrufung eines gewissen Wertes von Gamma notwendig ist. $\gamma \infty$ korrespondiert mit einer sehr langen Entwicklungszeit, über die hinaus kein Zuwachs der Schwärzung der Bromsilberplatte erfolgt (z. B. 10—15 Minuten bei Metol-Hydrochinon-Entwicklung); hierbei kann die Schwärzung der Platte, je nach der Dicke der Emulsionsschicht bis zur Dichte 5 oder 6 wachsen.

Diese Konstante k wird in dem Bereiche der praktischen Photographie, d. i. in der Spektralregion von Rot bis ins beginnende Ultraviolett für panchromatische Platten als unabhängig von der Wellenlänge des Lichtes angenommen; sie ist eine natürliche Konstante einer Platte; gegen das äußere Ultraviolett wird jedoch der Wert dieser Konstante größer (L. A. Jones und O. Sandvik).

Eingehender ist der Einfluß der Wellenlänge auf die Gradation usw. einer photographischen Platte im XIII. Kapitel geschildert.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ZEHNTES KAPITEL.

MESSUNG DES SCHLEIERS UND SEINE KORREKTUR BEI SCHWÄRZUNGSMESSUNGEN. EINFLUSS DER VORBELICHTUNG ODER EINES LATENTEN SCHLEIERS AUF DIE EMPFINDLICHKEIT UND GRADATION.

I. Messung des Schleiers photographischer Platten.

Unter „Schleier“ beim Entwickeln photographischer Platten versteht man die Silberreduktion, welche die nicht belichtete Schicht photographischer Platten beim Behandeln mit Entwicklersubstanzen erleidet. „Schleierlose“ Platten bleiben während der normalen Dauer der Entwicklung (z. B. 5 Minuten) an den unbelichteten Stellen vollkommen intakt; dies wird von Diapositivplatten, Kino-Positivfilmen, photomechanischen Platten verlangt. Bei sehr langer Entwicklung entsteht auf jeder photographischen Platte Schleier, dessen Schwärzung aber in anderer Gradation verläuft als beim Lichtbilde. Ein geringer Schleier, welchen die hochempfindlichen Bromsilber-Gelatineplatten des Handels (rapide Porträtplatten) fast immer aufweisen, gilt in der Praxis mit Recht als vollkommen unschädlich und erscheint dem praktischen Porträtphotographen mehr erwünscht, als glasige Schatten. Starke Schleier aber sind unzulässig und schädigen die Qualität der Negative.

Die Ursachen der Schleierbildung können verschiedene sein. Man teilt die Schleier in verschiedene Gruppen ein, von denen hier die sogenannten „chemischen Schleier“ und die „Licht-Schleier“ in Betracht kommen [1]).

Für Beurteilung eines Fabrikates von Bromsilbergelatine kommt zunächst der aus zu weit getriebener Reifung usw. entstandene Schleier in Betracht, der ähnlich, wie der Licht-Schleier, bei ver-

---

1) Vgl. Lüppo-Cramer, Bd. II, 1 dieses „Handbuches“, Grundlagen der photographischen Negativverfahren, 1927.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

längerter Entwicklungszeit mehr und mehr hervortritt und in größerer Dichte schädlich wirkt, die Kopierzeit verlängert, die Qualität der Negative schädigt und auch auf die Gradation zurückwirkt.

Nach Eders Messungen (1899 und 1900) ist ein Schleier, welcher die Schwärzung 0,1 aufweist, ganz unschädlich in der Praxis und als äußerst gering zu bezeichnen. Auch Schleier von der Schwärzung = 0,2 sind noch nicht störend und die Platten können immer noch als genügend klar arbeitend bezeichnet werden [1]), während Platten mit einer größeren Schwärzung als 0,3 schon als mittelmäßig schleierig zu bezeichnen wären, wogegen Schwärzungen 0,6 und 0,7 schon sehr starke Schleier repräsentieren, welche die Kopierdauer, die Gradation der Negative schon stark beeinflussen und die Details in den Schatten verdecken. Diese Grenzwerte werden allgemein angenommen [1]).

Die Schleierbildung ist nicht nur von der Art der photographischen Bromsilberschicht abhängig, sondern ist auch eine Funktion der Art des Entwicklers, der Zeitdauer seiner Wirkung und der Temperatur.

Zum Beispiel fand Eder für eine gute Handelssorte einer für Porträtaufnahmen beliebten rapiden Trockenplatte, welche der Praktiker als „ein wenig schleierig" bezeichnen würde, folgende Messungsergebnisse des Schleiers: Eisenoxalat nach 3 Minuten langer Einwirkung gab Schleier mit der Schwärzung 0,13, nach 5 Minuten 0,22, nach 10 Minuten 0,25 bei einer Temperatur von 17 bis 18° C. — Adurol (Brom- oder Chlorhydrochinon) gab nach 1 Minute den Schleier (Schwärzung) = 0,13, nach 2 Minuten 0,25, nach 4 Minuten 0,3, nach 5 Minuten 0,4 bis 0,5. — Hydrochinon (mit Pottasche (siehe Eder, Photographische Korrespondenz 1899, S. 465 usf.), gab in äquivalenter Zusammensetzung nach 2 Minuten den Schleier 0,12, nach 4 Minuten den Schleier 0,4, nach 5 Minuten den Schleier 0,6 und nach 8 Minuten 0,9.

Es lassen sich auf Grund dieser Angaben charakteristische Schleierkurven mit Berücksichtigung der Temperatur und Entwicklungsdauer konstruieren (Eder, Phot. Korr. 1899, S. 529; Andresen, ebenda; u. a.), wie in Abb. 61 ersichtlich gemacht ist.

1) Diese Grenze der zulässigen Schleiergröße von 0,2 wurde später auch von dem Forschungs-Laboratorium der Eastman-Kodak-Compagnie (A. L. Dundon & J. I. Crabtree, Brit. Journ. Phot. 1924, S. 701 u. 719) u. a. als zutreffend angenommen und eine Emulsion, die nur einen derartigen geringen Schleier aufweist, als „klar arbeitend" bezeichnet.

Abb. 162 zeigt zwei derartige Schleierkurven nach Eder für Hydrochinon- und Eisenoxalat-Entwickler.

Man erkennt, wie die verschiedenen Entwickler bei einer und derselben Plattensorte mehr oder weniger Schleier erzeugen, daß aber der „latente chemische Schleier" einer gereiften Bromsilber-Gelatine-Platte nicht zu jener kräftigen Schwärzung ansteigt (kein so großes „Gamma" erreicht) wie die Belichtung in der Periode der normalen Exposition (zuerst nachgewiesen von Eder 1899—1900). — Vgl. auch Abb. 55 mit der Schleier-Kurve.

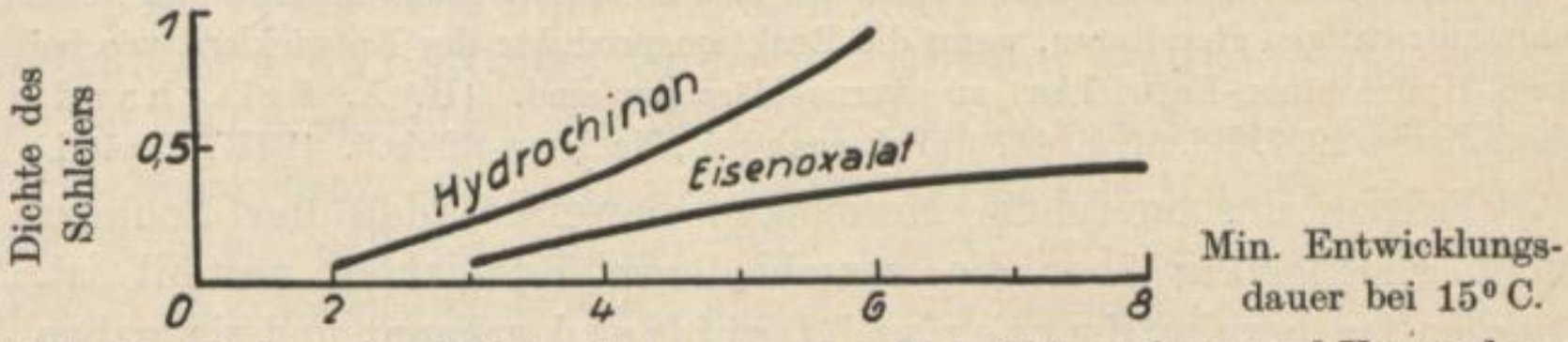


Abb. 62. Wachsen des Schleiers bei progressiver Entwicklungsdauer und Verwendung verschiedener Entwickler (Eder).

Für Diapositivplatten zu Projektionszwecken, insbesondere für Filme zur Kino-Projektion verlangt man besondere Klarheit.

Ein Kino-Positiv-Film soll auch bei langer Entwicklung ziemlich schleierlos bleiben, ohne daß der auftretende Schleier stärker als 0,1 ist. — Folgende Tabelle zeigt das sensitometrische Verhalten und die Schleierbildung eines Positiv-Films, wie sie nicht sein soll (Emmermann, Phot. Chronik 1928, S. 98).

Entwicklungsdauer in Minuten	Gamma	Dichte des Entwicklungsschleiers
3	1,66	0,24
6	1,96	0,32
9	2,05	0,46
12	2,15	0,59

Der hier beschriebene Positiv-Film erhält bereits bei 6 Minuten langer Entwicklung einen sehr deutlich wahrnehmbaren Schleier, der bei noch länger ausgedehnter Entwicklung rasch zunimmt. Dieses Material eignet sich daher gar nicht für die Kino-Praxis, wenn durch knappe Belichtung und forcierte Entwicklung von dünnen Negativen kräftige Kopien herzustellen sind. Denn der dabei auftretende Schleier belegt nicht nur die Spitzlichter, sondern verflacht auch die Tonabstufung in den hellen Mitteltönen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

II. Schleier-Korrektion bei der Bestimmung der photographischen Schwärzungsmessungen.

In der praktischen Sensitometrie schleieriger photographischer Platten pflegt man die Schleierdichte an den nicht belichteten Plattenstellen zu messen und von den abgelesenen Werten der photographischen Skalenfelder der untersuchten Platten abzuziehen. Dieser Vorgang genügt für technische Zwecke, nicht aber für genauere photometrische Untersuchungen.

O. Bloch (Transact. Farad. Soc. 1923, Bd. 29, S. 327) spart eine kleine Fläche in der Mitte der gegebenen Bild-Dichte aus und mißt dort die Schleierbildung; dies führt zu richtigen Resultaten, wenn die Reaktionsprodukte des Entwicklers, wie bei Metol-Hydrochinon-Entwickler zu vernachlässigen sind. (H. A. Pritchard, Phot. Journ. 1927, Bd. 67, S. 447.) (Vgl. auch bei „Nachbar-Effekt". (VIII. Kapitel.)

Präzise durchgeführte Messungen beweisen, daß der Schleier nicht gleichmäßig über die verschiedenen Bilddichten verteilt ist. Dies hatten bereits Hurter und Driffield erkannt und sie gaben an, daß die Zunahme des Schleiers über das Bild proportional der Masse des beim Belichten nicht affizierten Bromsilbers ist. — Der sichtbare Schleier wächst beim Entwickeln schneller an den unbelichteten als an den belichteten Stellen der Bromsilber-Gelatine-Platten.

Auch A. Nietz sagt in seiner „Theorie der Entwicklung" (herausgegeben von der Eastman Kodak Co. 1922), daß bei längerer Entwicklungsdauer die Zunahme des Schleiers in den Stellen der geringen Dichte des Bildes größer ist als in den sehr dichten Bildstellen und daß dieser Unterschied bei starker Schleierbildung stärker hervortritt.

Genau wurden diese Verhältnisse von W. Meidinger [1]) untersucht und er gab für die Schleierkorrektion folgende Formeln an:

$$D_f = \frac{D_m - D}{D_m - F} \cdot F$$

worin D_f die Schleierkorrektion bedeutet und $D_f = D - D_i$ ist, wobei D beobachtete Bilddichte unnd D_i die korrigierte Bilddichte ist. — In der ersten Gleichung Meidingers bedeutet D_m die Maximaldichte, welche die Bromsilberplatte bei noch so langer Exposition und Entwicklung annehmen kann, D ist die beobachtete Bilddichte (Schwärzung inkl. Schleier) und F die Dichte des Schleiers an einer nicht belichteten Stelle. — In Meidingers Gleichung für Schleierkorrektur ist angenommen, daß der Schleier proportional den Brom-

1) Meidinger, Zeitschr. f. Phys. Chem. 1924, Bd. 114, S. 89.

silberkörnern ist, die nicht entwickelt wurden; in der Maximaldichte ist also die Schleierkorrektur gleich Null, in den unbelichteten Stellen ist die Korrektur gleichfalls Null; die Korrekturzahl steigt also von den nicht belichteten Stellen an, wächst zu einem Maximum und sinkt in den stärksten Schwärzungen wieder auf Null.

R. P. Wilsey befaßte sich sehr eingehend mit der Schleierkorrektur bei der sensitometrischen Dichtemessung und geht von den obigen Ausführungen Meidingers aus (Phot. Journ. 1925, Bd. 65, S. 451). Er hebt jedoch hervor, daß diese Art von Schleierkorrektur auf jene Bromsilberkörner eingeschränkt werden muß, die durch Belichtung nicht affiziert wurden. — Größere Schleier in den Bildstellen sind proportional der Masse der nicht vom Lichte affizierten Bromsilberkörner. — Wilsey weicht hierin von Meidinger ab, der annimmt, daß der Schleier über dem Bilde proportional ist der Anzahl der Bromsilberkörner, die sich als belichtete Körner nicht entwickelt haben.

R. P. Wilsey stellt folgende Formel der Schleierkorrektur auf:

$$D_f = \frac{D_m - D\infty}{D_m} \cdot F$$

worin D_f die Schleierkorrektur ist, D_m das Maximum der entwickelbaren Dichte der gegebenen Plattenstelle ist und $D\infty$ die äußerste Bilddichte für eine gegebene Exposition und F die beobachtete Dichte des Schleiers an einer nicht belichteten Stelle der Platte.

Die Dichte $D\infty$ findet man, wenn man die Sensitometerstreifen etwa 30 Minuten lang entwickelt; Fehler in der Bestimmung $D\infty$ haben geringen Einfluß auf die Schleierkorrektur. Dann konstruiert man die charakteristische Kurve als erste Annäherung. Darauf trägt man die Meidingerschen Korrekturen auf. Wenn $D\infty$ experimentell annähernd bestimmt ist, so decken sich die Ergebnisse nach Meidinger mit denen von Wilsey.

Die Extrapolierung von $D\infty$ kann mit Hilfe der Nietzschen Entwicklungsgleichung erfolgen:

$$D = D\infty\ (1 - e^{-k \log t/t_0})$$

welche bereits auf Seite 153 erwähnt wurde.

Die Schleierkorrektur bei photographischen Dichtemessungen studierte auch H. A. Pritchard (Phot. Journal 1927, Bd. 67, S. 447) im Anschlusse an die von Wilsey angegebene Methode; er fand, daß diese Methode befriedigende Resultate der Schleierkorrektur gibt, wenn das Negativ praktisch fertig entwickelt ist, bevor der Schleier den Wert 0,5 erreicht. Pritchard fand ferner

daß man bei sehr langer Entwicklung alles Bromsilber der Schicht als „Schleier“ reduzieren kann, aber die Dichte des Maximalschleiers erscheint trotzdem merklich geringer als die Bilddichte, dies bringt ungenaue Schleierkorrektur bei der Wilseyschen Methode mit sich.

Einfluß der Vorbelichtung oder eines latenten Schleiers auf die Empfindlichkeit und Gradation.

Es ist bekannt, daß eine kurz und richtig bemessene Vorbelichtung, die unter dem Schwellenwerte einer photographischen Platte liegt oder diesen nur wenig überschreitet, unter Umständen eine Empfindlichkeitssteigerung herbeiführen kann; ähnliche Effekte erhält man durch eine ganz kurze Nachbelichtung oder Nebenbelichtung [1]) und im gewissen Grade auch durch sogenannte chemische latente Schleier, die beim Reifungsprozeß von Emulsionen entstehen. (Siehe Lüppo-Cramer „Grundlagen der Negativverfahren“ 1927, Bd. II, 1 von Eders „Ausführlichem Handbuch der Photographie“.)

Dabei hat die Farbe (Wellenlänge) des Lichtes wenig Einfluß auf das Resultat der Vorbelichtung. Allerdings benützt man zur Vorbelichtung das weniger wirksame rote, gelbe oder blaugrüne Licht, um die Dosierung für die Vorbelichtung leichter bemessen zu können.

Die Resultate schwanken aber sehr mit den Emulsionsarten; die Vorbelichtung kann nützlich, mitunter minderwertig, mitunter sogar schädlich sein.

Die erwiesene Tatsache, daß die auf den Schwellenwert bezogene Sensitometer-Empfindlichkeit durch Vorbelichtung erhöht werden kann, bedeutet aber nicht, daß die praktische Exposition bei Naturaufnahmen (Porträte, Interieurs) im selben Maße abgekürzt wird, denn der durch Vorbelichtung erzeugte Zuwachs an schwächsten Sensitometer-Nummern läuft größtenteils in eine „leere Gradation“ aus. — Allerdings wird auch das nächstliegende Stück der Kurve in der Periode der Unterexposition etwas gehoben und wird besser effektiv für den Kopierprozeß, wobei die Details in den Schatten etwas voller und deutlicher als bei nicht vorbelichteten Platten gleichlanger Exposition erscheinen; — oder man kann die Belichtungszeit in besonders günstigen Fällen (Momentaufnahmen) vielleicht auf die Hälfte abkürzen, aber dies gilt nicht für alle Plattensorten.

---

1) Eine historische Schilderung darüber s. Eder, Ausf. Handb. d. Photogr. I, 3. Dritte Auflage 1912, S. 316.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Zur praktischen Durchführung der Vorbelichtung hat man eigene „Vorbelichtungs-Lampen“ verwendet, für welche Eder (1884) rote Gläser benützte (s. S. 162), während man in neuerer Zeit Lampen mit gedämpftem blaugrünen Licht für diesen Zweck in den Handel brachte [1]), wo orthochromatische Platten ein Minimum der Empfindlichkeit zeigen, womit man die Dosierung (einige Sekunden) leichter regulieren kann. — Um das Jahr 1925 tauchten diese Verfahren der Vorbelichtung neuerdings auf, wurden anfangs sehr überschätzt und bald wieder auf das oben geschilderte richtige Maß zurückgeführt, weil man in der photographischen Praxis hiermit mehr Unheil anrichtete als Gewinn erzielte.

Die Erhöhung der Lichtempfindlichkeit von photographischen Platten durch Erzeugung eines Schleiers mittels Vorbelichtung ließen sich Conrad und Schumacher in Deutschland patentieren: Sie setzen die Platte einem Licht von der Wellenlänge 480 bis 530 $\mu\mu$ aus, sei es im Laboratorium, sei es in einem photogr. Apparat mit Lichtfilter, den sie gegen den Himmel richten (D. R. P. 417 372 vom 16. Februar 1924).

In der photographischen Fachliteratur unterscheidet man „Vorbelichtung“, „Nachbelichtung“ und „Nebenbelichtung“, je nachdem bei der normalen Belichtung der Platte (Negativprozeß) ganz schwache, über die ganze Platte wirksame Lichtmengen vor, nach oder gleichzeitig mit der normalen Belichtung auf die sensible Schicht einwirken.

Die Versuche über „Vorbelichtung“ photographischer Platten reichen bis in die Zeit der Daguerreotypie und des nassen Kollodiumverfahrens zurück und wurden schon im Jahre 1882 und 1884 auch auf Bromsilbergelatineplatten ausgedehnt [2]).

Die Vorbelichtung von hochempfindlichen Bromsilbergelatineplatten kann bekanntlich nur mit sehr schwachem oder sehr gedämpftem Licht vorgenommen werden, worauf bereits Burton (1882)

---

1) Zur Vorbelichtung wurden Lampen mit blaugrünem Glas unter dem Titel „Ormuzd-Lampen“ von Conrad und Schumacher in Berlin in den Handel gebracht (Photofreund, 1924, S. 121, 203, 219.).

2) Eders Ausf. Handb. d. Photogr. I. Erste Hälfte. 2. Aufl. 1891. S. 313. III. 5. Aufl. 1903. S. 84 u. 85. — J. M. Eder, Photogr. Korrespondenz 1884, S. 12. — Eder, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1917, Bd. 16, S. 220. — Lüppo Cramer, Grundlagen d. photogr. Negativverfahren. 1927 (Bd. II von Eder, Ausf. Handb. d. Photographie).

und Debenham im selben Jahre aufmerksam machten. Debenham (Brit. Journ. Photogr. 1882, S. 220) beobachtete den Effekt einer bis zum beginnenden Schleier wirkenden Vorbelichtung mittels Kerzenlichtes und stellte eine dadurch bewirkte sensitometrisch gemessene Empfindlichkeitssteigerung der Platte um das Doppelte und darüber fest.

Er machte aufmerksam, daß der durch die Vorbelichtung erzielte Zuwachs einiger Sensitometernummern in nur ganz schwach angedeuteten, von einander wenig unterschiedenen Sensitometerfeldern besteht, was in der angewandten Photographie für eine eventuelle Abkürzung der Belichtungszeit mit der Kamera praktisch ziemlich wertlos sei und die Qualität der Negative beeinträchtige.

J. M. Eder arbeitete bei seinen vor mehr als 40 Jahren veröffentlichten Versuchen über den Effekt der Vorbelichtung auf Bromsilbergelatineplatten (Photogr. Korresp. 1884, S. 12) mit einer durch rotes Glas entsprechend geschwächten Lichtquelle, um die Zufuhr der Lichtmenge besser in der Hand zu behalten. Diese Versuche ergaben für die durch die Vorbelichtung herbeigeführte sensitometrische „Steigerung der Empfindlichkeit" einen Zuwachs von 4—5 Graden des Warnerke-Sensitometers, was einer sensitometrischen „Empfindlichkeitserhöhung" um ungefähr das Zwei- bis Dreifache entspricht[1]).

Die Gefahren der Vorbelichtung und die engen Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit wurden nicht nur in rein photographisch praktischer Hinsicht von Debenham, sondern speziell mit Bezug auf astronomische Photographie bereits im Jahre 1900 von Karl Schwarzschild in seiner Abhandlung „Beiträge zur photographischen Photometrie der Gestirne" studiert („Publikationen der von Kuffnerschen Sternwarte in Wien", Bd. 5, 1900). Sie schließt sich an die von Schwarzschild an der angegebenen Stelle begründeten allgemeinen

---

1) Denselben Wert fand später Rheden als Effekt von Vorbelichtung (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1916 u. 1917. Bd. 16, S. 227). Dieser Gewinn von 4—5° Scheiner bedeutet in der Astrophotographie den Gewinn einer vollen Größenklasse der Sterne. Er teilt ferner mit, daß die Gradation in jenem Teil der Schwärzungskurve der photographischen Platte, welche der Vorbelichtung entspricht, eine sehr unbefriedigende ist, weil „kleinere Helligkeitsunterschiede sich kaum als Unterschiede in der Schwärzung erkennbar machen werden", d. h. daß sogenannte „Empfindlichkeitssteigerung" von Bromsilbergelatineplatten durch Vorbelichtung eine monotone, schlecht abgestufte Bildspur ergibt.

Rheden machte nachträglich an der Wiener Universitäts-Sternwarte eine photographische Aufnahme des Orionnebels auf je einer vorbelichteten und auf einer nicht vorbelichteten Platte und fand die schwachen Bildteile auf der vorbelichteten Platte schlechter ausgeprägt.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Gesetze der photographischen Schwärzung an. Wir wollen die folgende, auf die Vorbelichtung der Platten bezügliche Stelle (S. 36 der Schwarzschildschen Abhandlung) wörtlich anführen:

„Vergegenwärtigen wir uns nunmehr," schreibt Dr. Schwarzschild, „die Verhältnisse bei einer Reihe von Aufnahmen mit wachsender Vorbelichtung. Fehlt jede Vorbelichtung, so wird bei der Einheit der Expositionszeit die schwächste erscheinende Sterngröße durch den Schwellenwert $v = \sigma = m$ selbst gegeben. Kommt eine kleine Vorbelichtung hinzu, so erzeugt der Stern der Größe v eine deutliche Schwärzung und es kommen auch noch schwächere Sterne zum Vorschein. Dabei tritt eine schwache Krümmung des unteren Endes der Schwärzungskurve auf. Wächst die Vorbelichtung, so mehren sich die neu erscheinenden schwachen Sterne und zugleich biegt sich die Schwärzungskurve zu einem immer flacheren Ende um, ein immer größeres Stück des unteren asymptotischen Armes tritt in das Bereich der sichtbaren Schwärzungen. Im Augenblick, wo die Vorbelichtung den Schwellenwert erreicht, kommt der theoretisch bis zu den schwächsten Sternen reichende unendlich lange Arm der Schwärzungskurve ganz zum Vorschein, in Wirklichkeit erhält man Sterne bis zur Größe $v + 0{,}7$. Wächst die Vorbelichtung über den Schwellenwert hinaus ($\sigma_0 > v$), so beginnen die schwächeren Sterne wieder in dem stärker werdenden Schleier zu verschwinden, sie bleiben nur bis zur Größe $\sigma_0 + 0{,}7$ sichtbar."

„Handelt es sich also darum, möglichst schwache Sterne zu erhalten, so muß man genau bis zum Schwellenwert vorbelichten. Handelt es sich aber um photometrische Zwecke, so ist zu berücksichtigen, daß der Abfall des unteren Endes der Schwärzungskurve mit der Annäherung der Vorbelichtung an den Schwellenwert immer geringer und daher für die schwachen Sterne eine Ableitung der Größe aus der Schwärzung immer unsicherer wird. Es wäre also in jedem einzelnen Falle ein Kompromiß zwischen diesem Nachteil und jenem Vorteil zu schließen. Übrigens dürfte sich in der Praxis eine Anwendung künstlicher Vorbelichtung kaum empfehlen, zumal da, wie wir unten sehen werden, analoge Erscheinungen durch geeignete Modifikation der Entwicklung hervorgebracht werden können."

„Fragt man nun, welche Art der Entwicklung sich am meisten empfiehlt, so hat eine sehr kräftige Entwicklung offenbar die beiden Vorzüge, daß sie erstens schwache Sterne zum Vorschein bringt, die sonst unsichtbar bleiben, und daß durch sie zweitens die Schwärzungskurve steiler, die Kontraste stärker und daher feinere Größenunterschiede erkennbar werden. Diese Vorzüge gehen aber zum Teil wieder verloren, sobald der Entwickler so stark ist, daß merklicher Schleier auftritt. Es ergeben sich dann nämlich Verhältnisse, ganz ähnlich denen, welche durch eine allgemeine Vorbelichtung der Platte bewirkt werden. Beginnt der Entwickler auch unbelichtete Teile der Platte anzugreifen, so muß er notwendig vorher alle belichteten Stellen herausgeholt haben, es müssen theoretisch also auch unendlich schwache Sterne, in Wirklichkeit aber alle die Sterne, die sich vom Plattengrunde um den Schwärzungsunterschied von etwa anderthalb Skalenteilen abheben, erscheinen. Bei noch stärkerer Entwicklung beginnen die schwachen Sterne wieder in der zunehmenden Verschleierung zu verschwinden. Um also möglichst schwache Sterne zu erhalten, muß man bis zu beginnender Schleierbildung entwickeln. Aber auch darin ist starke Entwicklung der Wirkung der Vorbelichtung analog, daß eine Umbiegung der Schwärzungskurve, ein Flacherwerden ihres unteren Endes auftritt."

Auch die Ansicht, daß das Entwickeln bis zu einem schwachen Entwicklungs-

Schleier „die gleichen Erscheinungen wie die Vorbelichtung herbeiführt", hat bereits Schwarzschild ausgesprochen.

K Schwarzschild wollte die künstliche Vorbelichtung der photographischen Platte für die Praxis kaum empfehlen. Daran tat er recht. Auch Eder (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1917, Bd. 16) fand im Laufe vieljähriger Arbeiten auf dem Gebiete der Spektrumphotographie, daß es sehr gefährlich ist, die Platten durch Vorbelichtung „anzuschleiern" (was z. B. Wood in der „Physikalischen Zeitschrift", 1908, S. 355, empfahl), da der Schleier bei der erforderlichen langen Entwicklungsdauer die anfangs erschienenen schwachen Bildspuren undeutlich macht und deshalb die erhaltenen Negative minderwertig sind. Er erhielt durchschnittlich weit bessere Spektrumphotographien bei Verwendung von hochempfindlichen Bromsilbergelatineplatten, welche man ohne Vorbelichtung bis zur beginnenden Schleierbildung entwickelt. Der Keim zu „beginnendem Schleier" findet sich in jeder hochempfindlichen Platte; dies gilt nicht nur für gewöhnliche Bromsilbergelatineplatten, sondern auch für farbenempfindliche Platten, bei denen es noch viel gefährlicher ist, einen künstlichen Lichtschleier durch Vorbelichtung zu erzeugen.

Die Erfahrung, welche Eder durch Photographieren und durch Ausmessen von Hunderten von lichtschwachen Spektralphänomenen machte, brachte ihn zur Überzeugung, daß es in der Regel weit vorteilhafter ist, mit nicht vorbelichteten, hochempfindlichen Platten zu arbeiten, die Entstehung von Lichtschleiern zu vermeiden und auf die bedenkliche, die Resultate allzu oft gefährdende und die Qualität der photographischen Negative in den meisten Fällen schädigende Vorbelichtung zu verzichten. Will man den problematischen Empfindlichkeitsgewinn mittels sehr genau gemessener Vorbelichtung versuchen, so halte man sich an die von Schwarzschild gegebenen Direktiven.

Wird durch die Vorbelichtung ein starker Schleier erzeugt, der z. B. über die Dichte 0,5 steigt, dann wird fast immer das Negativ verschlechtert, weil die Details in den Schatten zugedeckt werden.

Über das Wesen und die Anwendung der Vor- und Nachbelichtung schrieb auch Armin Dadieu (Atelier d. Photographen 1926, S. 136). Er ermittelt mit einer schwachen Lichtquelle die Belichtungszeit, die an der Grenze des Schwellenwertes liegt, nimmt dann Porträt-Aufnahmen vor und gibt eine Nachbelichtung derselben Lichtmenge. Die Porträt-Negative werden angeblich dann bei abgekürzter Belichtungszeit harmonischer. — Karl Beck fand den Effekt der Vorbelichtung, gleich dem der Nachbelichtung (Photofreund 1924, S. 203). Nach Neugebauer ist der

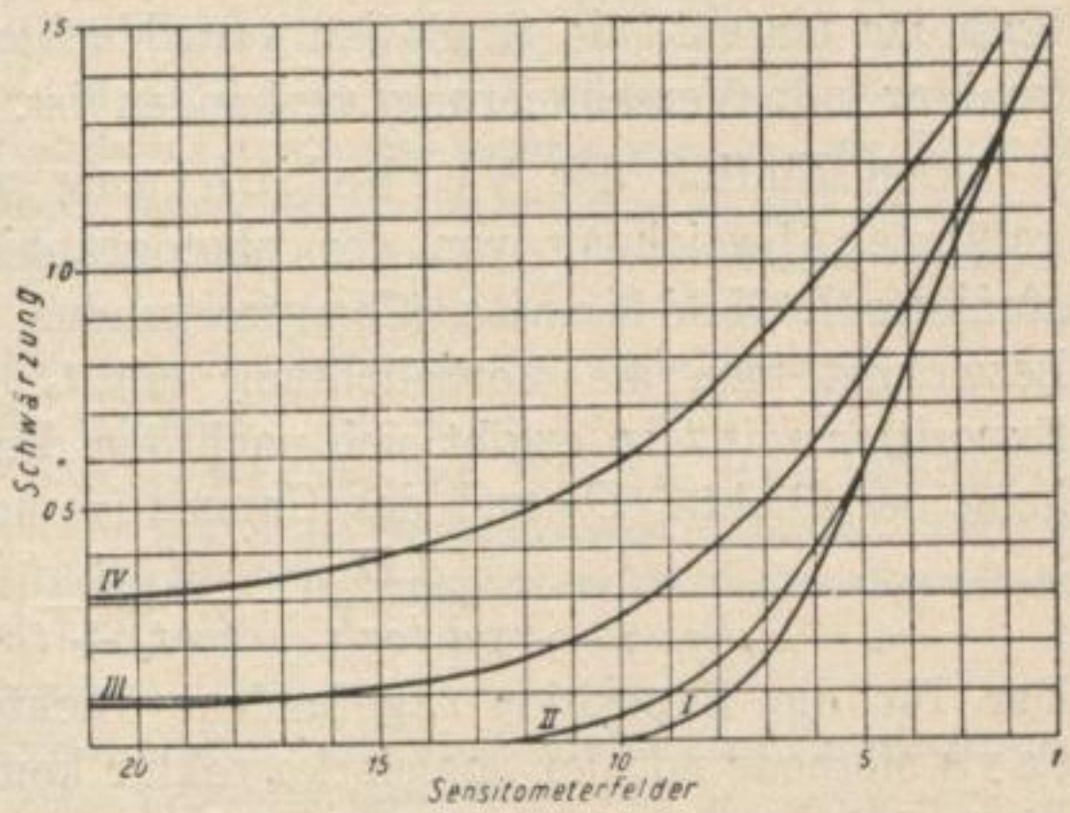
Effekt der Nachbelichtung nicht identisch mit dem der wirksameren Vorbelichtung (Photofreund 1924, S. 219).

Über den Zusammenhang der Vor- und Nachbelichtung einer Platte mit rotem Licht mit der Solarisation (Herschel-Effekt) und mit dem Schwarzschild-Exponenten p und über den Unterschied gegenüber der Vor- und Nachbelichtung, siehe Leszynski, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1926, Bd. 24, S. 275.

Die Vorbelichtung von Bromsilbergelatineplatten wird also nur in Ausnahmsfällen eine Verbesserung der Empfindlichkeit und der Gradation mit sich bringen und ihre Anwendung erfordert genaue Sachkenntnis.

Auch bei Chlorsilbergelatineemulsion, sei es in Form von Diapositivplatten oder von Gaslichtpapieren macht sich in analogem Sinne der Einfluß der Vorbelichtung geltend.

Karl Kieser zeigte in sehr instruktiven Versuchen, daß man sich bei Verarbeitung von Gaslichtpapieren (Chlorsilbergelatine) vor einer Vorbelichtung hüten soll, denn sie kann die Gradation nachteilig beeinflussen.



(Scheinergrade.)

Abb. 63. Wirkung der Vorbelichtung auf Gaslichtpapier nach K. Kieser. Wirkung der Vorbelichtung auf hartarbeitendes Gaslichtpapier. I. Ohne Vorbelichtung. — II. Mäßige Vorbelichtung. — III. Leere Verlängerung der Halbtöne durch mittlere Vorbelichtung. — IV. Überlagerung des Schleiers bei starker Vorbelichtung.

Allerdings sind für die wenig empfindlichen kräftigen Gaslichtpapiere viel größere Lichtintensitäten oder Expositionen notwendig. Z. B. verursacht nach Kieser (Phot. Korr. 1927. S. 122) eine Vorbelichtung von 960 Sekunden-Meter-Hefnerkerzen erst einen Schleier mit Metol-Hydrochinon, aber schon eine Vorbelichtung von 240 S. M. K. gab eine Verlängerung um 2 Scheinergrade, eine solche 480 S. M. K. sogar um 6 Grade. Zugleich war aus einem extrahart arbeitendem Papier ein weich arbeitendes geworden. Weitere Vorbelichtung gab eine sog. „leere Gradation“ und die Lichter der Kopien wurden stumpf. Bei vorschreitender Vorbelich-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

tung nahm auch die Schwärzung der gedeckteren Stellen zu, bei 960 S. K. M. trat schwacher, bei 1440 trat starker Schleier auf.

Abb. 63 zeigt schematisch nach Kieser das Verhalten von Gaslichtpapieren unter dem Einflusse der Vorbelichtung in ungemein anschaulicher Weise, die auch für die schwerer kontrollierbaren Bromsilberpapiere vorbildlich ist.

Diese Darstellungen zeigen, daß eine Vorbelichtung (wie sie unabsichtlich durch schlechte Dunkelkammerbeleuchtung bei der Fabrikation erfolgen kann) bei Gaslichtpapieren den Bildcharakter sehr empfindlich schädigen kann, weil eine leere Verlängerung der hellsten Halbtöne eintritt, die Gradation verschlechtert und meist mehr oder weniger mit Verschleierung verbunden ist.

Den Einfluß der Vorbelichtung und die dadurch herbeigeführte Abweichung von der photographischen Reziprozitätsregel studierte I. Hrdliczka (Comptes rendus 1927, Bd. 185, S. 125). Bezeichnet man die Vorbelichtung mit t_o und die darauffolgende Expositionszeit t so ergibt sich nach dem Entwickeln der Zusammenhang der Dichte (D) und des Gamma (γ) nach der Gleichung

$$\frac{d\,D}{d\,log\,t} = \gamma\left(\frac{t}{t_o + t}\right)$$

Der für die Exposition t, gefundene Dichtegrad wird nach Wilseys Methode mit der Schleierkorrektur kombiniert. (Eastman Kodak Abst. Bull. September 1927, S. 461.)

Das sehr variable Verhalten verschiedener Plattensorten gegen eine Vorbelichtung untersuchten G. Labussiére und M. Lebelle sensitometrisch und densographisch gelegentlich des Pariser Photographischen Kongresses 1925 (Phot. Ind. 1925, S. 984). — Sie zeigten, daß man zu ganz verschiedenen Resultaten kommt, je nachdem man den Schwellenwert oder den Neigungswinkel der Gradationskurve als Maß der Empfindlichkeit zugrunde legt.

Fall I: Die Empfindlichkeit ist durch den Begriff „Anstieg der charakteristischen Kurve" definiert; d. h. wenn die Dichte D gegen den Logarithmus der Belichtung E aufgetragen wird, so ist die Empfindlichkeit der negative Wert der Abszisse ($-log\ E_0$) des Kurvenpunktes, für den der Anstieg $dD/d\log E$ einen bestimmten Wert λ_0 besitzt.

Sie bezeichnen die Belichtungen der nicht vorbelichteten Emulsion mit E, die der verschleierten mit E', die betreffenden Dichten mit D und D' und die Größe der Vorbelichtung mit ε und betrachten den Verlauf folgender Kurven:

I. D als Funktion von $log\ E$;

II. D als Funktion von E;

III. D' als Funktion von E';
IV. D' als Funktion von log E'.

Da gemäß obiger Voraussetzung für gleiche Dichten D und D' $E = E' + \varepsilon$ ist, so geht Kurve III aus Kurve II durch Verschiebung um das Stück ε parallel zur horizontalen Achse hervor. Sind E_0 und E_1' die Belichtungen in den Punkten M_0 und M_1 der Kurven I und IV, für die der Anstieg den festgesetzten Wert λ_1 besitzt, so ist die Empfindlichkeitssteigerung durch den Ausdruck

$$-\log E_1 - (-\log E_0) = \log E_0/E'_1$$

gegeben. Durch mathematische Umformungen läßt sich zeigen, daß

$$(1) \qquad \frac{E_0}{E_1'} = \frac{(dE/dE)E_1'}{(dD/dE)E_0} = \frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_0}$$

ist, d. h. daß die Empfindlichkeitssteigerung durch das Verhältnis der Tangenten der Neigungswinkel α_0 und α_1 an den Punkten P_0 und P_1 der Kurven II und III gegeben ist, die den Punkten M_0 und M_1 der Kurven I und IV entsprechen. Eine Erhöhung der Empfindlichkeit durch Vorbelichtung ist also nur möglich, wenn sich auf Kurve II rechts von P_0 ein Punkt P_1 befindet, für den der Anstieg größer ist als für P_0; die maximale Empfindlichkeitssteigerung tritt dann ein, wenn für P_1 der Anstieg ein Maximum hat, d. h. wenn P_1 einen Wendepunkt der Kurve darstellt. Durch Kombination von Gleichung (1) und (2) erhält man für die Größe der Vorbelichtung

$$\varepsilon = E_1 - E_0 \cdot tg\,\alpha_0/tg\,\alpha_1.$$

Fall II. Die Empfindlichkeit ist durch den Begriff „Schwellenwert" definiert, d. h. die Empfindlichkeit ist durch die kleinste Belichtung gegeben, für die die Dichte des Bildes sich von der Dichte des allgemeinen Schleiers um einen bestimmten, festgesetzten Wert a unterscheidet.

Hier sind zwei Fälle möglich:

Ist die Vorbelichtung ε kleiner als die Abszisse oJ des Punktes P_0, bei der die Kurve II gegen die horizontale Achse zu steigen beginnt (vgl. Abb. 64), und werden die Schwellenwerte der ursprünglichen und der verschleierten Emulsion mit E_s bzw. E_s' bezeichnet, so ist:

$$E_s' = E_s - \varepsilon,$$

d. h. die Empfindlichkeit wächst mit steigender Vorbelichtung.

Ist aber ε größer als oJ, so erhöht die Vorbelichtung den allgemeinen Schleier, und der Wert von E_s' hängt von der Neigung der charakteristischen Kurve in der Umgebung des Punktes P_0 ab, wie weiter unten näher erläutert wird.

Experimentelle Untersuchung. Für viele Verwendungsgebiete ist es angebracht, die Empfindlichkeit durch den Logarithmus der Belichtung in dem Punkt der Gradationskurve zu definieren, in dem der Anstieg $\operatorname{tg}\alpha_0 = \frac{1}{2}$ ist. Unter Annahme dieses Wertes haben die Verfasser ihre theoretischen Betrachtungen auf über 40 Emulsionen, deren charakteristischen Kurven im Gebiet der Unterbelichtung bestimmt worden waren, angewandt. Es wurden drei verschiedene Kurventypen und damit drei Möglichkeiten für die Wirkung der Vorbelichtung erhalten (Abb. 64).

Fall A, bei dem auf P_0 erst ein geradliniges und dann ein zur E-Achse konkaves Stück folgt, ist der weitaus häufigste; eine geringe Vorbelichtung ändert die Empfindlichkeit nicht, eine größere vermindert sie.

Fall B: P_0 liegt auf einem gegen die E-Achse konkaven Stück; Vorbelichtung vermindert stets die Empfindlichkeit.

Fall C, bei dem P_0 auf einem gegen die E-Achse konvexen Stück liegt, wo also theoretisch eine Empfindlichkeitssteigerung möglich ist, wurde nur bei vier oder fünf

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Emulsionen beobachtet und war nur bei einer einzigen eine experimentelle Prüfung zugänglich; bei dieser Emulsion, einem panchromatischen Film, betrug die maximale nach Gleichung 2 theoretisch mögliche Empfindlichkeitssteigerung 3° bis 4° Scheiner (Verminderung der Expositionszeit im Verhältnis 2,5 : 1). Eine Probe des Films wurde zur Hälfte einer Vorbelichtung von $^2/_3$ Sekundenmeterkerzen ausgesetzt, beide Hälften unter einem Sensitometerkeil mit niedriger Keilkonstante belichtet und die Gradationskurven für beide Hälften gezeichnet. Es ergab sich dabei:

Empfindlichkeit der ursprünglichen Emulsion . . .		11°
Empfindlichkeit der vorbelichteten Emulsion	berechnet	14°
	gefunden	13,5°
Verhältnis der Empfindlichkeiten der ursprünglichen und der vorbelichteten Emulsion	berechnet	2
	gefunden	1,75

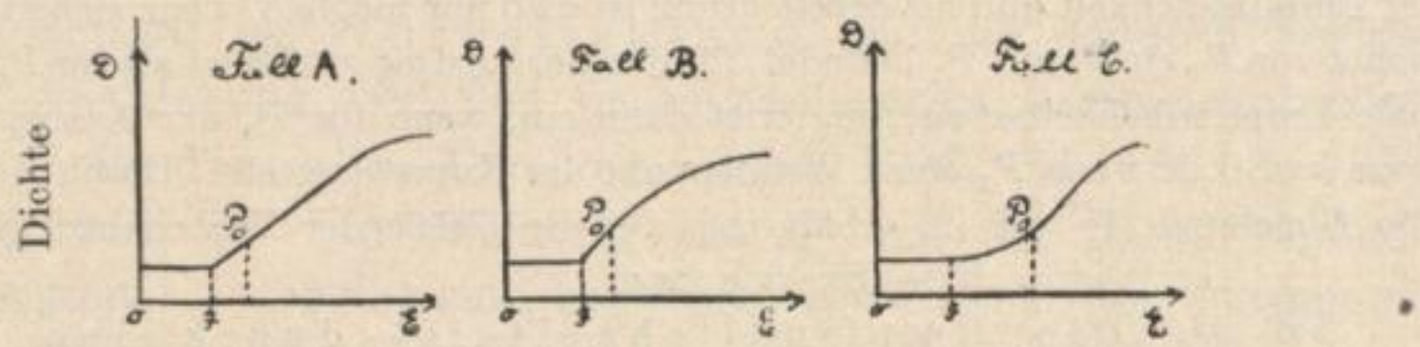


Abb. 64.

Die gefundene und die berechnete Gradationskurve der vorbelichteten Emulsion stimmen im oberen Teil gut überein, im unteren Teil sind die gefundenen Dichten höher als die berechneten. Abweichungen derselben Art von derselben Größenordnung wurden bei anderen Emulsionen beobachtet. Die Abweichungen sind verschieden groß, je nachdem der Schleier durch Vor- oder Nachbelichtung hervorgerufen wurde. Bei Gebrauch eines Scheinerschen Sensitometers statt eines Keils sind die Ergebnisse ganz analog.

Wegen experimenteller Schwierigkeiten ließen sich die theoretischen Voraussagen über die Änderung des Schwellenwertes nicht bestätigen.

Labussiére und Lebelle ziehen aus ihrer Arbeit den Schluß, daß eine schwache Vorbelichtung die Empfindlichkeit der meisten Emulsionen nicht beeinflußt und nur in Ausnahmefällen eine Verminderung der Belichtungszeit bis auf etwa $^1/_4$ zuläßt.

Auch Scheffer und Knoche stellten eingehende Versuche über den Wert der Vorbelichtung an (Phot. Ind. 1924, S. 725; siehe auch 1928, S. 59) und kamen zu folgenden Resultaten:

„Man kann einen gewissen praktischen Erfolg der Vorbelichtung haben, nämlich, wenn man so vorbelichtet, daß eben gerade ein leichter, aber deutlich wahrnehmbarer Schleier entsteht. Dann werden die Objekthelligkeiten, die ohne die Vorbelichtung im Gebiet der Unterbelichtung liegen, in das Gebiet des geraden Teiles der

Gradationskurve gebracht und diese ohne Vorbelichtung schlecht wiedergegebenen Unterschiede der geringen Objekthelligkeiten werden nur im geraden Teil der Kurve unter etwas günstigeren photometrischen Bedingungen wiedergegeben. — Natürlich verliert man zugleich entsprechendes im oberen Teil der Gradationskurve. Diese wird nämlich entsprechend flacher, praktisch gesprochen gradationsärmer oder flauer."

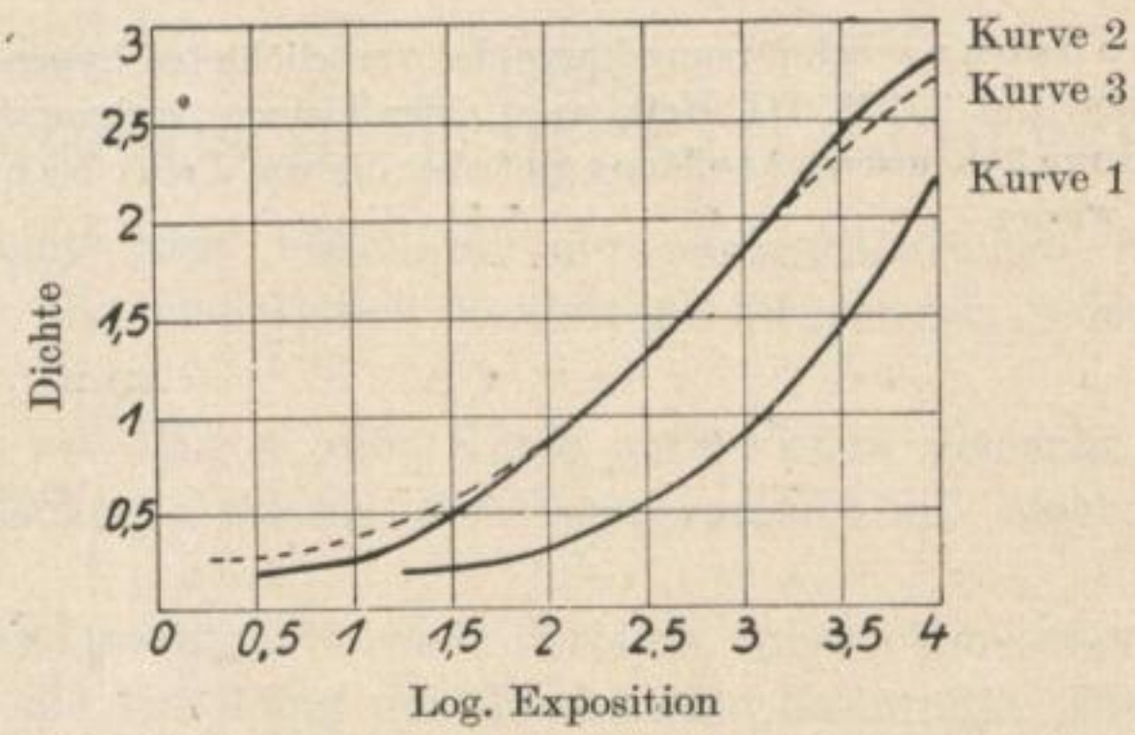


Abb. 65.

Kurve 1, gewöhnl. Bromsilbergelatine. — Kurve 2, Bromsilbergelatine, hypersensibilisiert mit Pinachromviolett und ammoniakalischer Silberlösung. — Kurve 3, nach Vorbelichtung der hypersensibilisierten Platte (nach Jacobsohn).

Kurt Jacobsohn begründete dies durch Versuche mit hypersensibilisierten panchromatischen Platten mit einer 25kerzigen Glühlampe und einem Naphtolgrün-Filter; die Wirkung der Vorbelichtung ist von der Wellenlänge des Lichtes zwar unabhängig, aber das Grünfilter gestattet die leichte Regulierung der Belichtungszeit. — Jacobsohn fand, daß eine Vorbelichtung bei gewöhnlichen Tageslichtaufnahmen zwecklos ist, denn bei diesen befindet sich, richtige Belichtung vorausgesetzt, die Objekthelligkeit im geraden Teil der Schwärzungskurve. Anders liegen die Verhältnisse bei kinematographischen Nachtaufnahmen; hier befindet sich der größte Teil der Objekthelligkeiten im Gebiet der Unterbelichtung, zum Teil sogar unter dem Schwellenwert, die Vorbelichtung vermag deshalb einen bei Vergleichsaufnahmen deutlich wahrnehmbaren günstigen Eindruck auszuüben.

Dies stellt Jacobsohn durch die Kurven in Abb. 65 dar, welche auf sensitometrischem Wege gewonnen wurden.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Kurve 1 Abb. 65 zeigt die Gradationskurve eines gewöhnlichen Bromsilberfilms.

Kurve 2 Abb. 65 zeigt die Gradationskurve des mit der ammoniakalischen Silbersalzlösung und Pinachromviolett und Pinachrom hypersensibilisierten Films.

Kurve 3 Abb. 65 gibt die Schwärzungskurve desselben hypersensibilisierten Filmes nach einer Vorbelichtung wieder[1]).

---

1) Jacobsohns Schwärzungskurve des vorbelichteten hypersensibilisierten Filmes in „Phot. Ind." 1928. III. Heft, weist einen kleinen Zeichungsfehler auf; die gestrichelte Kurve 3 in unserer Abbildung gibt aber die von Jacobsohn revidierte Kurve genau wieder.

ELFTES KAPITEL.

DER PHOTOCHEMISCHE TEMPERATUR-KOEFFIZIENT.

Die Temperatur beeinflußt die photographischen Reaktionen, ebenso wie alle chemischen Reaktionen überhaupt, jedoch in verschiedenem Grade.

Darauf sei hier in aller Kürze aufmerksam gemacht, damit bei sensitometrischen Arbeiten der Temperatureinfluß nicht übersehen wird.

Die Geschwindigkeit des Verlaufs photochemischer Prozesse wird durch die Erhöhung der Temperatur beeinflußt. Die bei einer Temperatursteigerung von 10° eintretende Reaktionserhöhung nennt man den Temperaturkoeffizienten [1]).

Temperaturkoeffizient für die Belichtung der Bromsilber-Gelatineplatten.

Der Temperaturkoeffizient der Bromsilbergelatineplatte während der Exposition ist innerhalb der Grenzen von + 30 und — 20° bis 40° praktisch gleich 1. Die Temperaturdifferenz während der Exposition ändert somit praktisch nicht die Empfindlichkeit der Platte.

Die Temperaturkoeffizienten der Wirkung monochromatischer Belichtung auf photographische Bromsilberplatten und Papiere bestimmen M. Padoa und L. Mervini [2]) unabhängig von der Farbe (Rot bis Violett) zu 1,05. Werden die Papiere bis zu einer bestimmten direkten Schwärzung belichtet, so zeigt sich deutlich eine Abhängigkeit des Temperaturkoeffizienten von der Farbe, derselbe ist für ultraviolettes Licht 1,19, für blaues 1,07 und nimmt zu mit zunehmender Wellenlänge. Für den Temperatureinfluß auf photographische Bromsilbergelatineplatten fand auch Dalezki als mittleren Wert des Temperaturkoeffizienten = 1,05, und zwar für gewöhnliche Platten und weißes Licht, ebenso für Pinachromplatten und gelbes, grünes und blaues Licht [3]). Der Temperaturkoeffizient einer photographischen Schicht bezieht sich auf die photochemische Veränderung während der Belichtung.

---

1) Über photochemische Temperaturkoeffizienten siehe Plotnikow, Leitfaden der Photochemie, Leipzig 1928.

2) Padoa u. Mervini, Atti R. Accad. dei Lincei, Rom (5), Bd. 25/II, S. 168.

3) Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 1919, Bd. 18, S. 233.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Temperaturkoeffizient bei den Entwicklungsvorgängen photographischer Schichten.

Die Temperatur der Entwicklerflüssigkeit soll in der Praxis durchschnittlich 16 bis 20° C betragen. Für sensitometrische Zwecke nimmt man die Temperatur von 18° C als Norm an. Niedrige Temperatur vermindert die Entwicklungskraft mancher Entwickler sehr bedeutend, so z. B. bei Glyzin-, Hydrochinon-Soda-Entwickler u. a.; gegen schadet den Rapid-Entwicklern, wie Metol oder Metochinon, die Kälte weniger. Bei niedrigen Temperaturen empfiehlt sich besonders der Metol-Hydrochinon-Entwickler mit Ätznatron, sowie Metochinon mit Soda oder auch Rodinal. Zu warme Entwickler (besonders Rapidentwickler über 20° C) neigen zur Schleierbildung.

Auch die Vermehrung der Reaktionsgeschwindigkeit bei der Erhöhung der Temperatur um 10° C wird am besten durch den Temperaturkoeffizienten ausgedrückt.

Wenn ein Entwickler bei 18° C zweimal rascher eine Bromsilbertrockenplatte entwickelt, als bei 8°, so sagt man: der Temperaturkoeffizient dieses Entwicklers ist 2.

Tabelle der Temperaturkoeffizienten verschiedener Entwickler [Eder] (zwischen 6° und 20° C).

Metol-Soda	1,5
Metol-Hydrochinon-Soda	1,7—1,9
Hydrochinon-Soda	2,2—2,6
Pyrogallol-Soda	2,2—2,4
Rodinal	2,0
Glyzin-Pottasche	2,5—2,7
Brenzkatechin-Pottasche	2,8
Eisenoxalat	2,2

Je kleiner der Temperaturkoeffizient ist, desto weniger verliert ein Entwickler beim Abkühlen seine Wirksamkeit.

Diese Temperaturkoeffizienten repräsentieren keine genauen Werte, sondern sie schwanken sehr mit der detaillierten Zusammensetzung der Entwicklerlösungen und der Art der Silberhaloidschichte und ihrem Reifungszustande und werden auch durch die verschiedene Beeinflussung der Entwickler durch Bromkalium geändert. W. A. Heydecker (Science Industrie Phot. 1925, S. 21) studierte den Einfluß der Temperatur auf die Entwicklungsdauer in großen Versuchsreihen. Er leitete den Temperaturkoeffizienten (C) der Ent-

wicklung aus zwei Entwicklungszeiten T und T' ab, die bei den Temperaturen t und t' das gleiche Resultat ergeben, und daraus die in der nachfolgenden Gleichung angegebenen Zusammenhänge:

$$\log C = (\log T - \log T') \cdot \frac{10}{t' - t}$$

Mit dieser Gleichung kann man den Temperaturkoeffizienten C bestimmen, wenn man einmal zwei identische Negative in einem Entwickler bei gegebenen verschiedenen Temperaturen und Zeiten erhalten hat. Wenn der Temperaturkoeffizient bekannt ist, kann die für eine beliebige andere Temperatur erforderliche Zeit zu denselben Entwickler berechnet werden.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ZWÖLFTES KAPITEL.

DIE PHOTOGRAPHISCHEN SCHWÄRZUNGSGESETZE VON SCHWARZSCHILD, KRON UND ANDEREN. — DER INTENSITÄTSFAKTOR. — SCHWÄRZUNGSFLÄCHEN IN GEOMETRISCHER DARSTELLUNG.

Das im 2. Kapitel erwähnte Reziprozitätsgesetz ist nur in gewissen Grenzen gültig und die photographischen Schwärzungsvorgänge weisen mannigfache Abweichungen auf, die ihrerseits wieder gewissen Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Dies formulierten zuerst Karl Schwarzschild und später sein Mitarbeiter Kron zu den nach ihnen benannten Schwärzungsgesetzen, welche im Nachfolgenden genauer beschrieben werden.

I. Das Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz von der Formel $J \cdot t^p$ und $J^q \cdot t$.

Historischer Überblick: Wie bereits auf S. 13 erwähnt wurde, war es den photographischen Praktikern schon in der Blütezeit des Kollodiumverfahrens längst bekannt, daß man bei sehr schwachen Lichtintensitäten und klein geblendeten Objektiven viel länger belichten muß als die Reziprozitätsregel bei sehr hellem Lichte erwarten läßt. Der Astronom Janssen konstatiert im Jahre 1881, daß im photographischen Entwicklungsprozeß die Wirkung des Lichtes **nicht** genau proportional der Intensität wächst (vgl. Eders Handbuch d. Phot. 1. Aufl. 1881, S. 201). In der Folge studierte Abney die Abweichungen vom Reziprozitätsgesetz bei Bromsilbergelatineplatten in sehr sorgfältigen Arbeiten 1892—1894 [1]) und verfolgte messend die Abweichungen. Er sagte, wenn man mit sehr kleinen Lichtintensitäten zu tun hat, so bricht das Reziprozitätsgesetz zusammen. Z. B. bewirke eine Bromsilbergelatineplatte bei stark sinkender Intensität nur $^1/_4$ des photographischen Effektes (Schwärzung) bei konstantem $J.\ t.$ Diese Differenz fand Abney sehr stark bei wenig empfindlichen Bromsilbergelatineplatten, aber gering bei hochempfindlichen Platten. —

---

1) Abney, Vortrag in der „Royal Phot. Soc. Great Brit., Nov. 1894; — auch Eders Jahrbuch f. Phot. 1895, S. 123 und 149. — Abneys Vortrag im Londoner Camera-Club, April 1893; Eders Jahrbuch, 1894, S. 36 und 373. — Hierher gehören auch Arbeiten von Michalke, Miethe, Precht, Englisch u. a.

Auch beobachtete er, daß eine intermittierende Beleuchtung einen geringeren photographischen Effekt gab, als eine gleichlange bei ununterbrochener Belichtung. Abney gab 1894 an, daß „für jede Platte eine Lichtintensität vorhanden ist, welche auf die Platte bei einer bestimmten Exposition eine Maximalwirkung ausübt, und daß nach jeder Seite hin von diesem Maximum die nutzbringend verwendete Energie abnimmt". Das sehr reiche Beobachtungsmaterial bewies die Abweichungen von dem Reziprozitätsgesetz, aber Abney gelangte in seinen fundamentalen Arbeiten zu keiner Aufstellung eines diesen Verhältnissen Rechnung tragenden Schwärzungsgesetzes, das erst durch K. Schwarzschild und E. Kron gegeben wurde.

Es ist eine in der angewandten Photographie seit mehr als einem halben Jahrhundert empirisch festgestellte Tatsache, daß man bei Aufnahmen in der Kamera mit sehr kleinen Lichtintensitäten relativ viel länger belichten muß, als nach der Reziprozitätsregel berechnet wurde..

Karl Schwarzschild[1]) präzisierte als erster dies genauer in seinem Schwärzungsgesetz:

Es ist nicht gleichgültig, ob man die Exposition $J \cdot t$. durch das Produkt von außerordentlich kurzen Belichtungszeiten (t) mit hoher Lichtintensität (J) oder mit sehr langer Belichtungszeit mit sehr kleiner Lichtintensität ausdrückt.

Dieser Tatsache kann man nach K. Schwarzschild (1899) Rechnung tragen, wenn man sagt: „Die photographische Wirkung des Lichtes auf die Schwärzung von Bromsilber-Gelatine-Platten hängt von dem Produkte $J \cdot t^p$ oder $J^q \cdot t$ ab." Oder, mit anderen Worten: Es tritt gleiche Schwärzung auf einer bestimmten Bromsilbergelatine-Platte immer dann ein, wenn die Produkte (Lichtmengen) $J \cdot t^p$ oder $J^q \cdot t$ denselben Wert haben. J ist die Lichtintensität, t die Belichtungsdauer. p und q sind Konstante (s. S. 178).

Schwarzschild führte seine Untersuchungen zunächst mit

---

1) Karl Schwarzschild wurde am 1. Oktober 1873 in Frankfurt a. M. geboren, studierte 1891—1896 in Straßburg und München, wo er promoviert wurde, ging 1897 an die Kuffnersche Sternwarte in Wien; daselbst begann er seine photographisch-photometrischen Untersuchungen, die ihn zu seinem „Schwärzungsgesetz" führten, in Eders photochemischem Laboratorium an der graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Dann ging er nach München, woselbst er sich 1899 an der Universität habilitierte, wurde 1901 Direktor der Sternwarte zu Göttingen und Prof. der Astronomie daselbst, 1909 Direktor des Potsdamer Astrophysikalischen Observatoriums, 1912 Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften und Honorarprofessor der Berliner Universität. Im Weltkriege zog er sich im Felde eine schwere unheilbare Krankheit zu und starb in Potsdam am 11. Mai 1916. (Nekrolog: Naturwissenschaften. 1916, Heft 31, Autor Sommerfeld. Vierteljahresschrift der Astronomischen Gesellschaft. 58. Jahrgang, 1923. S. 192; Autor Oppenheim.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Lichtmengen aus, die sich innerhalb der Grenzen des 100fachen Schwellenwertes bewegten, und mit einer Hefnerkerze oder mit einer Scheinerschen Benzinlampe; die Versuche waren also den Methoden der Sensitometrie photographischer Platten angepaßt, und dann wendete sie der Astronom Schwarzschild auf die Photometrie der Sterne an; er arbeitete also mit geringen Lichtintensitäten. Hierbei stellte er sehr richtig fest, daß in seiner Schwärzungsformel die Exponenten p oder q zwei für die betreffende Platte charakteristische Konstanten sind, von denen p im allgemeinen kleiner als 1, dagegen q in der Regel größer als 1 ist.

Es ist also das Reziprozitätsgesetz nur ein spezieller Fall obiger Formeln, aus denen es entsteht, wenn man p oder $q = 1$ setzt.

Die erste, am meisten benützte, Formel $J \cdot t^p$ veröffentlichte Schwarzschild im Jahre 1899 in den „Publikationen der Kuffnerschen Sternwarte in Wien". Bd. V., die neuere Schreibweise $J^q \cdot t$, welche kleine Vorteile bietet, wurde in Eders Jahrb. f. Phot. 1900, S. 161, publiziert.

Diese Schwarzschildschen Näherungsformeln für das Schwärzungsgesetz geben in einfacher Form innerhalb gewisser Intervalle der Lichtintensität alle Abweichungen über das in der praktischen Photographie und für die Sensitometrie für gewöhnlich in Betracht kommende Gebiet der Lichtintensitäten und der Belichtungszeiten bis auf einige Prozent annähernd richtig wieder; sie sind daher in den meisten Fällen zureichend, wo man nicht die allerhöchste Genauigkeit beansprucht, und müssen als ein sehr großer Fortschritt in der Erkenntnis der photographischen Schwärzungserscheinungen von Bromsilbergelatineplatten gegenüber dem einfachen Reziprozitätsgesetz bezeichnet werden.

Die Bedeutung des Schwarzschildschen Gesetzes für die Messung der Strahlungs-Intensität mit Hilfe photographischer Methoden hob neuerdings F. C. Toy hervor (Nature, 1926, Bd. 7, Nr. 2933; Phys. Berichte, 1926, Bd. 7, S. 1736). Er erwähnt, daß es in der photographischen Sensitometrie zwei Methoden gibt: 1. Bestimmung der Schwärzungskurve und Herausberechnung der zu vergleichenden Lichtintensität. Nachteil: Die nicht strenge Gültigkeit des Schwarzschildschen Gesetzes. 2. Vergleich von fast gleichen Intensitäten dadurch, daß die stärkere Intensität auf einen Bruchteil durch rotierende Sektoren oder Graukeile oder Gitter geändert wird. Dann gilt das Schwarzschildsche Gesetz strenge, weil nur geringe Differenzen der Intensitäten zur photographischen Wirkung kommen, die innerhalb der Gültigkeitsgrenzen des Gesetzes fallen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

II. Die Schwarzschildsche Formel $J \cdot t^p$ im Schwärzungsgesetz.

Das durch die Formel $J \cdot t^p$ ausgedrückte Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz wird vielfach in der photographischen Photometrie und Sensitometrie sowie in der angewandten Photographie verwendet. Hierbei spielt der Exponent p eine bedeutende Rolle; er wechselt von einer Art der Bromsilbergelatine zur anderen und kann als eine charakteristische Größe für eine jede derselben gelten.

Im allgemeinen ist unter den von Schwarzschild eingehaltenen Grenzen, d. i. bei Expositionen bis etwa den 50- bis 100-fachen Schwellenwert der Wert für p kleiner als 1. Es erscheint für die geschichtliche Entwicklung der Trockenplattenfabrikation bemerkenswert, daß Schwarzschild für Erzeugnisse im Jahre 1900 bei einer deutschen Porträtplatte $p = 0{,}86$, bei einer französischen Platte 0,96, für eine wenig empfindliche Bromsilbergelatineplatte 0,97 und für ein sehr wenig empfindliches Bromsilberpapier $p = 0{,}78$ fand, wobei er sich als Lichtquelle einer Benzinkerze bediente.

Spätere Untersuchungen bestätigten diese Angaben, namentlich auch, daß in der Regel rapide Bromsilberemulsionen einen höheren Wert von p besitzen als wenig empfindliche Diapositiv-Emulsionen.

H. C. Channon fand für p bei englischen hochempfindlichen Bromsilbergelatineplatten in den Jahren 1911—12 folgende Werte: für Wellington-Marion-Platten 0,95—0,97, für Cadett-, Edwards- und Wrattenplatten 0,87—0,89, für Imperialplatten 0,86 und bei Ilfordplatten 0,86 (Brit. Journ. Phot. 1926, S. 753).

Plotnikow[1]) gibt 1919 für deutsche hochempfindliche Schleußnerplatten für p den Wert 0,98, für französische Lumière-Platten 0,96, für englische Wratten-Platten 0,87 an und ähnliche Werte (durchschnittlich 0,9) fand Eder bei zahlreichen Untersuchungen verschiedener rapider Trockenplattensorten in seinem Laboratorium an der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien im Jahre 1920, für wenig gereifte Bromsilbergelatineemulsionen (Negativ- oder Diapositivplatten) aber 0,8, mitunter 0,7 bis 0,6. Gaslichtpapiere haben auch so kleine Werte von p und zwar meistens um so kleiner, je kleiner die Schwellenwert-Empfindlichkeit ist.

Bei photometrischen Arbeiten mit rapiden Bromsilbergelatineplatten empfiehlt es sich bei Anwendung der Schwarzschildschen Formel für p den Mittelwert 0,9 anzunehmen, falls man auf die spezielle Feststellung der Zahl verzichten will.

1) Plotnikow, Allgemeine Photochemie 1920, S. 674.

Unter der Voraussetzung, daß in der Schwarzschildschen Schwärzungsformel $p < 1$ ist, muß man die Schlußfolgerung ziehen, die Schwarzschild mit folgenden Worten ausdrückte: „Die Bromsilbergelatineplatte hat die Eigenschaft, von der einstrahlenden Lichtmenge um so weniger für den photographischen Prozeß zu verbrauchen, je langsamer die Energie zuströmt.“ — In dieser Form, unter der genannten Voraussetzung, ist dieser Satz zweifellos richtig und gilt auch für die Berechnung der Expositionszeit in der praktischen Photographie.

A. Hübl zeigte in seiner Mitteilung „Die Bestimmung der Schwarzschildschen Exponenten und ihre Bedeutung für die photographische Praxis“ (Phot. Korr. 1919, S. 363): Würde ein Negativ auf Gaslichtpapier bei einer Lampe mit der Intensität $J = 50$ Kerzen während der Zeit $t = 10$ Sek. kopiert und soll nun bei einer Lampe mit $J_1 = 10$ Kerzen weiterkopiert werden, so wäre nach der Reziprozitätsregel die Expositionszeit $x = t\frac{J}{J_1} = 50$ Sek. erforderlich. — Die Relation $J : x = J_1 : t$ ist aber nicht zutreffend, denn die richtige Formel lautet $J : x^p = J_1 : t^p$.

Wäre der Wert für p in unserem Falle $= 0{,}7$, so ist $x^{0,7} = 5 \times 10^{0,7}$ und daher $x = 100$. — Man hat also in unserem Falle bei der 10-Kerzen-Lampe, um das gleiche Resultat zu erhalten, 100 Sekunden zu exponieren, also doppelt so lang, als es das Reziprozitätsgesetz verlangt. Ähnliche Verhältnisse machen sich auch bei der Aufnahme mit der photographischen Kamera geltend, wenn man durch Wechsel der Blende die Bildhelligkeit beträchtlich ändert und nun die erforderliche Belichtungszeit rechnen will. (Allerdings sind hier die Abweichungen von dem Reziprozitätsgesetz viel geringer als in dem vorhin gegebenen Beispiele, weil sich der Wert des Exponenten bei Rapidplatten durchschnittlich auf 0,9 erhöht und bei sehr starken Helligkeiten sich dem Wert 1 nähert und damit mehr den Berechnungen nach der Reziprozitätsregel angleicht.)

Bei sehr hart arbeitendem Gaslichtpapier fand Odencrants das $p = 0{,}67$. Wenn man beim photographischen Kopierverfahren die Lichtquelle um das Vierfache entfernt, so muß man in diesem Falle 63 mal länger exponieren und nicht 16 mal länger, als das Reziprozitäts-Gesetz verlangt. (Photographischer Kongreß in Paris 1925.) Auch hier entspricht die Schwarzschildsche Näherungsformel den Verhältnissen in der photographischen Praxis.

Auch beim Bichromat-Auskopierprozeß (Pigmentverfahren) macht sich der Schwarzschildsche Exponent p bemerklich und tritt z. B. mit dem Wert $= 0{,}8$ auf; ähnliches gilt für mannigfache photographische Kopierverfahren, während bei einigen $p = 1$ erscheint.

Bestimmung des Schwarzschildschen Exponenten p.

Das Schwarzschildsche Gesetz setzt in der Formel $J \cdot t^p$ den Wert für p als konstant voraus, und unabhängig von der Licht-

intensität und der Wellenlänge des Lichtes (was allerdings nur in engen Grenzen zutrifft, s. S. 264).

Man bestimmt p unter der Voraussetzung, daß

$$J_1 \cdot t_1^p = J_2 \cdot t_2^p$$

oder

$$\log J_1 + p \log t_1 = \log J_2 + p \cdot \log t_2$$

ist, woraus sich ergibt

$$p = \frac{\log J_2 - \log J_1}{\log t_1 - \log t_2}.$$

In obiger Formel bedeutet p den Schwarzschildschen Exponenten, J_1 und J_2 die beiden wirkenden Lichtintensitäten und t_1 und t_2 die dazugehörigen Belichtungszeiten.

Die Bestimmung von p erfolgt nach dieser Gleichung in praktischer Ausführung in der Weise, daß auf zwei, mit verschiedenen Expositionen in einem Sensitometer (Skalenphotometer, Röhrenphotometer) und einer Hefnerkerze oder Scheinerkerze gewonnenen Schwärzungs-Skalen die den Stellen gleicher Schwärzung (besser: den Feldern nächst dem Schwellenwerte) zugehörigen Lichtintensitäten ermittelt werden. — Danach kann p berechnet werden.

Man belichtet z. B. hinter einem Eder-Hecht-Sensitometer (Keilkonstante 0,40) 10 und 1000 Sekunden lang (t_1 und t_2) und liest an der entwickelten Platte die Schwellenwerte an den Skalenfeldern nebst den dazugehörigen Lichtintensitäten ab. — An der Stelle der Schwellenwerte (oder gleicher mittlerer Schwärzung) ist

$$J_1 \cdot t_1^p = J_2 \cdot t_2^p .$$

Beim Eder-Hecht-Sensitometer sind die Intensitäten J_1 und J_2 an den betreffenden Skalenfeldern und der dazugehörigen Tabelle zu entnehmen. — Es ist also

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^p = \frac{J_2}{J_1},$$

woraus p leicht zu berechnen ist.

L. A. Jones und E. Huse (Journ. Opt. Soc. Americ. 1923, Bd. 7, S. 1107) geben der oben angegebenen Schwarzschildschen Gleichung eine andere Form:

Da der Logarithmus der Exposition (E)

$$\log E = \log (J \cdot t)$$

gleich dem Logarithmus von Lichtintensität und Zeit ist, somit

$$\log E = \log J + \log t$$
$$\log t = \log E - \log J$$
$$\log t_2 - \log t_1 = \log E_2 - \log J_2 - \log E_1 + \log J_1$$
$$= (\log E_2 - \log E_1) + (\log J_1 - \log J_2),$$

so findet man

$$p = \frac{\log J_1 - \log J_2)}{(\log E_2 - \log E_1) + (\log J_1 - \log J_2}.$$

Mit dieser Formel und bei Benutzung einer Glühlampe von 2500° Farbtemperatur und Variierung der Lichtintensität von 1:1 000 000 kann p berechnet werden.

[Die stärkere Wirkung großer Lichtintensitäten kann man mit der experimentell zu beobachtenden Tatsache in Beziehung bringen, weil zwei Schicht an Schicht gelegte Bromsilberfilme bei intensivem Lichte einen deutlichen Lichteffekt auf der unten liegenden Schicht zeigen, nicht aber bei schwachem Licht bei gleicher Lichtmenge. E.]

Frank E. Ross[1]) leitet den Wert p aus dem Verhältnisse des Gammas in der Schwärzungskurve ab, die man durch Vermehrung der Exposition (Vergrößerung der Intensität und der Belichtungszeit) genau bestimmen kann. — Er gibt für den Zusammenhang von p mit Gamma (γ) die Formel: $\gamma_t = p \cdot \gamma_i$, worin γ_t das Gamma bei einer gegebenen Belichtungszeit und das γ_i Gamma für eine bestimmte Lichtintensität bedeutet.

Hugo Maria Kellner führt an, daß die von Schwarzschild angegebene und meist verwendete Methode zur Bestimmung des Exponenten p

$$p = \frac{log\, i_2 - log\, i_1}{log\, t_1 - log\, t_2}$$

nur Mittelwerte von p in einem bestimmten Intervall gibt (Zeitschr. f. wissenschaftl. Photogr. 1926, Bd. 24, S. 58), weil eben das p bis zu einem gewissen Grade von der Lichtintensität abhängt. — Streng gültig ist diese Methode nur bei sehr großen oder sehr kleinen $log\,(J \cdot t)$, da man sich dann in den Gebieten bewegt, wo sich p nur wenig ändert; man erhält so die Grenzwerte von p.

Eine ganze Reihe von Forschern hat experimentell die Veränderlichkeit p mit der Lichtmenge nachgewiesen[2]), was im Nachfolgenden näher erörtert wird.

---

1) Frank E. Ross, On the relation between photometr. density, light intensity and expos. time (Journ. Opt. Soc. Americ. 1920, Bd. 4, S. 255. — Abridg. Scient. Publik. Eastman Kodak Nr. 93.

2) Eine gute Zusammenstellung der Literatur über die Eigenschaften von p findet sich bei Arvid Odencrants (Zeitschr. f. wiss. Photogr., Bd. 16, Heft 4 bis 6, 1916). — Die Veränderlichkeit von p mit der Lichtmenge wurde insbesondere von Schwarzschild (Eders Jahrbuch 1900, S. 161), A. Becker und A. Werner (Zeitschr. f. wiss. Photogr. Bd. V, S. 382 und Bd. VI, S. 25), Sheppard u. Mees

Veränderlichkeit des Schwarzschildschen Exponenten p mit der Lichtintensität. — Einfluß von Bromakzeptoren.

Für die photographische Praxis kann man innerhalb der gebräuchlichen Expositionen und den üblichen Dichten der Negative den Wert p für eine bestimmte Plattensorte mit genügender Annäherung als konstant annehmen [1]) und man kommt bei der Anwendung der Schwarzschildschen Formel $J \cdot t^p$ zu praktisch gut passenden Belichtungszeiten.

Schwarzschild und andere [1]) hatten angenommen, daß sowohl der Exponent p wie der später erwähnte Exponent q innerhalb sehr weiter Grenzen der Schwärzung in der Periode der normalen Exposition konstant seien, und man pflegt ihn (bei Arbeiten mit Bromsilbergelatine) für gewöhnlich mit durchschnittlich = 0,9 in die Rechnung zu setzen; aber spätere Untersuchungen, die mit erhöhter Meßgenauigkeit ausgeführt worden waren, ergaben, daß in der Periode der normalen Exposition mit wachsender Schwärzung auch das p wächst.

So befaßte sich schon Erich Kron auf Anregung und unter der Direktion Schwarzschilds an der Potsdamer Sternwarte näher mit den Schwankungen des Wertes des Exponenten p und er fand, daß p keineswegs immer kleiner als 1 sein müsse, sondern bei sehr großen Belichtungen bei rapiden Bromsilbergelatineplatten sich zwischen 0,8 und sogar bis 1,2 bewegen könne.

Später fanden R. J. Wallace und H. B. Lemoin [2]) für Eastman Seed-Platten eine, wenn auch geringe Variabilität und J. A. Parkhurst [3]) konnte sogar ganz beträchtliche, von der Schwärzung abhängige Veränderungen des Exponenten p innerhalb solcher Schwärzungsgebiete, die bei photometrischen Anwendungen

---

(Untersuchungen über die Theorie des photographischen Prozesses 1912, S. 239), J. A. Parkhurst (Astrophys. Journ. 1909, Bd. 30, S. 33), H. E. Ives (Astrophys. Journ. 1910, Bd. 31, S. 157), P. P. Koch (Annalen der Physik, IV, Bd. 30, 1909, S. 841), insbesondere aber H. M. Kellner (Zeitschr. f. wiss. Photogr. 1926, Bd. 24, Seite 53) untersucht.

1) Schwarzschild, a. a. O.; ebenso Leimbach (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1909, Bd. 7, S. 157, 181); C. Schell (Dissertation), Leipzig 1910; H. H. V. Brothers (Phys. Zeitschr. 1911, Bd. 12, S. 193); Vegard (Annalen der Physik, 1912 (4), Bd. 39, S. 111).

2) Wallace und Lemoin, Astrophys. Journ. 1909, Bd. 29, S. 154.

3) Parkhurst, Astrophys. Journ. 1909, Bd. 30, S. 33. — Parkhurst fand den Exponenten p nicht nur mit der Intensität variabel, sondern auch mit der Wellenlänge des einfallenden Lichtes.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

häufig in Betracht kommen, nachweisen; ebenso H. E. Ives[1]), P. P. Koch[2]), Odencrants[3]).

Auch L. A. Jones und E. Huse fanden bei Versuchen mit Eastmanschen Seedplatten (rapide Bromsilber-Gelatineplatten) den Wert von p schwankend je nach den wirkenden Lichtintensitäten z. B. für eine und dieselbe Platte bei mäßigen Lichtintensitäten ansteigend von 0,88 bis 1,0, bei sehr großer Lichtintensität sogar bis 1,15; bei einer anderen Sorte von Porträtplatten von 0,63 ansteigend bis 1,07; bei wenig empfindlichen Kino-Positiv-Filmen stieg der Wert p von 0,76 bis höchstens 1,00, welcher Wert sich von der Grenze der mittleren Belichtung bis zur sehr starken maximalen Belichtung konstant erhielt. (Journ. Opt. Soc. Americ. 1923, Bd. 7, S. 1107. — Abridg. Scient. Publ. Eastman Kodak, 1923, Nr. 193.)

Die Tatsache, daß bei sehr großen Lichtintensitäten der Wert für p größer als 1 werden kann, ist sehr zu beachten. Denn in diesem Falle gilt nicht mehr die von Schwarzschild (für $p<1$) aufgestellte These, daß die einstrahlende Lichtenergie (bei gleichem $J \cdot t$) um so weniger wirkt, je langsamer sie einströmt, sondern das Gegenteil.

Es geht dies zwangsläufig aus dem Schwarzschildschen Schwärzungsgesetz und seiner Formel $J \cdot t^p$ hervor und ist eigentlich nicht als Abweichung (Anomalie) vom Schwarzschild-Gesetz zu bezeichnen, da sie nur dadurch bedingt ist, daß die Plattenkonstante p in speziellen Fällen größer als 1 werden kann, während für gewöhnliche Fälle $p < 1$ ist.

Für $p = 1$ resultiert die Bunsen-Roscoësche „Reziprozitätsregel“,
$p < 1$ resultiert der normale Schwarzschildsche Effekt,
$p > 1$ resultiert der verkehrte („inverse“) Schwarzschild-Effekt.

Es ist ein Verdienst Lüppo-Cramers, daß er 1927 die Feststellung machte, daß unter gewissen Voraussetzungen der photochemische Effekt auf Bromsilbergelatine mit zunehmender Entfernung der Lichtquelle (bei gleichbleibendem Werte von $J \cdot t$) sich erhöhen kann (Phot. Rundschau. 1927. Heft 13). — Diese Abweichung von der bis dahin allgemein gebräuchlichen Ansicht, daß p stets kleiner als 1 sein müsse und man somit das Gegenteil erwarten solle, konnte Lüppo-Cramer durch eine sehr einfache Versuchsanordnung an zahlreichem Negativ- und Positivmaterial des

1) Ives, Astrophys. Journ. 1910, Bd. 31, S. 157.
2) Koch, Annalen d. Phys. 1909 (4), Bd. 30, S. 841.
3) Odencrants, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1916, Bd. 16, Heft 4, 5, 6. — Daselbst gute Literaturübersicht.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Handels nachweisen, sowie bei Benützung von Emulsionen nach der Ammoniak- und Siede-Methode, ferner mit Gaslicht- und Bromsilberpapieren (Phot. Rundschau 1927). Als Lichtquelle diente ihm eine 120 Kerzen-Metallfadenlampe in einem Gehäuse mit Milchglasscheiben, die das Licht vollkommen diffus machten. Von dieser ab wurde im Abstande von 10 cm während 30 Sek., und zum Vergleiche dieselbe Plattensorte im Abstand von 50 cm während $12^1/_2$ Min. (entsprechen gleichem $J \cdot t$) hinter einem Graukeil exponiert: Bei größerer Entfernung ergab sich eine stärkere Schwärzung (größerer photogr. Effekt), als bei der kleinen Entfernung (größeren Intensität), während nach der üblichen Auffassung des Schwarzschildschen Gesetzes das Umgekehrte zu erwarten war. (Es war also bei der größten Intensität $p > 1$ geworden, während in älteren Kommentaren des Gesetzes stets $p < 1$ angenommen worden war.)

Lüppo-Cramer erklärt diese von ihm gemachten Feststellungen über den „verkehrten Schwarzschild-Effekt“ dahin, daß das Licht zur Umsetzung des Halogensilbers eine gewisse Zeit benötigt („Zeit-Effekt“), die ihm bei Benützung starker Lichtquellen in großer Nähe nicht zur Verfügung steht. Die Verhältnisse stellen sich nach Lüppo-Cramer so dar, daß man drei Zonen des photochemischen Effektes auf Bromsilber unterscheiden kann: Die erste (bei engbegrenzten schwachen Lichtwirkungen, in welcher der gewöhnliche Schwarzschildsche Effekt zur Geltung kommt), die zweite, bei der die Reziprozitätsregel ihre Gültigkeit erlangt, und die dritte, in der der Schwarzschild-Effekt in sein Gegenteil umgekehrt wird (mit anderen Worten: es geht $p < 1$ in $p = 1$ und schließlich in $p > 1$ über).

Lüppo-Cramer zeigte, daß diese seine Darstellung auch für Auskopierpapiere gilt; er meint, daß der bei der Entstehung des Bildes mitwirkende Diffusionsprozeß des Chlors aus dem zersetzten Chlorsilber offenbar einer gewissen Zeit bedarf, die durch ein Mehr an Licht nicht ohne weiteres ausgeglichen werden kann. Es wird also der photo-chemische Effekt durch Regression gehemmt.

Die Wirkung von sehr kleinen Lichtintensitäten und langer Belichtungszeit in der dritten Zone bezeichnet Lüppo-Cramer als Zeiteffekt[1]). So können in diesem Falle mit schwachem Licht und langer Exposition größere Empfindlichkeiten erhalten werden, was insbesondere bei dem wenig wirksamen roten Licht eintreten

1) Vergl. Rudolf Wegscheider „Licht- und Dunkelreaktionen mit Gegen- und Folgewirkung“ (Sitzber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, Febr. 1929, Abt. II b. 138. Band. S. 33).

kann (s. Fajans und Steiner, Zeitschr. f. Phys. Chemie. 1926. Bd. 125, S. 313).

Sehr bemerkenswert ist die Beobachtung Lüppo-Cramers, daß durch Baden der Bromsilbergelatineplatten mit Bromakzeptoren (Natriumnitrit, Sulfit usw.) das gewöhnliche Schwarzschild-Phänomen in weiten Grenzen aufgehoben wird, so daß $p = 1$ wird und dann die Reziprozitätsregel Bunsens in Gültigkeit kommt (Phot. Indust. 1927. Nr. 14, 15 und 20, S. 495.)

Er faßt den variablen Schwarzschild-Effekt als „Regressionserscheinung" auf; die Abweichungen von der Reziprozitätsregel seien darauf zurückzuführen, daß man es bei der photochemischen Zersetzung des Bromsilbers mit einem umkehrbaren Prozeß zu tun habe, wie dies in noch höherem Grade auch bei Jodsilbergelatine der Fall ist. — Solche Jodsilber-Emulsionen zeigen einen starken Schwarzschild-Effekt (einen kleinen Wert für den Exponenten p), Jodakzeptoren, wie Natriumnitrit, Sulfit, Ferrizyankalium heben auch bei Jodsilber den Effekt auf (p wird gleich 1), und es tritt die Reziprozitätsregel in Kraft. Bromsilber-Kollodiumemulsion, eingetrocknet, ohne Zusatz, und Diapositiv-Gelatine-Emulsion verhalten sich ähnlich bezüglich Schwarzschild-Effekt; in beiden Fällen macht sich ein Gradationsunterschied zwischen der Wirkung von schwach wirkendem gelben und intensiv wirkendem blauen Licht geltend.

Lüppo-Cramer fand einen charakteristischen Unterschied des langwelligen Lichtes hinter einem Gelbfilter auf Bromsilberplatten mit Natriumnitrit gegenüber weißem Lichte, indem die Schwärzung im ersten Fall gegenüber dem entwickelbaren Bilde überwog (Phot. Indust. 1927. S. 489).

Die Veränderung des Schwarzschildschen Exponenten p unter dem Einflusse von Desensibilisatoren studierten H. Arens und J. Eggert; die Werte für p nehmen (verglichen mit der nicht desensibilisierten Platte) anormale Werte an: In einem weiten Bereiche ist $p = 0$ im Gebiete des Ausbleichens sogar $p = -2{,}3$ (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928, Bd. 26, S. 111).

Einfluß des Intensitätsfaktors auf die Solarisation des Bromsilbers.

Der erste, der den Einfluß des Intensitätsfaktors auf die Solarisation bei gleichbleibendem Produkte i.t erkannte und genau feststellte war E. Just (Erfinder der ersten photographischen Schnell-Kopier-Maschinen). Er belichtete Bromsilberpapier 300 Sekunden mit dem schwachen Lichte einer Petroleumlampe und dann $^1/_3$ Sekunde bei Sonnenlicht (bei photometrisch gemessenem gleichem Produkte

i.t) und entwickelte mit Eisenoxalat. Die Belichtung bei schwachem Licht gab keine Solarisation, das Sonnenlicht aber eine sehr starke. Just stellte den Satz auf: „Die Solarisation der Bromsilbergelatine ist um so bedeutender, je höhere Intensität die Lichtquelle besitzt“ (Eders Jahrb. f. Phot. 1898. S. 50). H. Luggin gab wohl als der erste oder einer der ersten eine Erklärung dieser Phänomenen (Eders Jahrb. 1898. S. 103). Die Bildsubstanz des entwicklungsfähigen latenten Lichtbildes auf Bromsilbergelatine liegt an der Oberfläche des Bromsilberkornes. Bei langer Belichtung häuft sich das abgespaltene Brom im Innern des Kornes an, bis es dem Dissoziationsdruck des Silberhalogens annähernd das Gleichgewicht hält und Solarisation hervorruft. Bei weiterer Belichtung wird die Solarisation auch die Oberfläche ergreifen, und zwar um so rascher, je mangelhafter der Halogen-Bromakzeptor und je niedriger der Dissoziationsdruck der Silbersalze ist. In seiner Abhandlung „Über Anwendung elektrischer Methoden auf photographische Probleme“ (Eders Jahrbuch. 1898. (S. 103 und 169) machte Luggin darauf aufmerksam, daß der Dissoziationsdruck des belichteten Jodsilbers am größten, der des Chlorsilbers am kleinsten ist und das Bromsilber dazwischen liegt. Lüppo Cramer studierte diese Phänomene genauer.

Einfluß des Intensitätsfaktors bei der Belichtung des Jodsilbers.

Bei feinkörniger Jodsilbergelatine macht sich der Einfluß der Intensität des wirkenden Lichtes besonders stark geltend, wie Lüppo-Cramers gründliche Versuche zeigten (Die Kinotechnik, 1929, S. 65). Belichtet man solche Schichten 5 Sekunden lang diffus bis zur mäßigen latenten Schwärzung (beim Entwickeln mit alkalischem Amidol) und dann bei derselben Lichtquelle (120kerzige Osramlampe) in 50 cm Entfernung unter einem Eder-Hecht-Sensitometer 5 Minuten lang, so erfolgt Solarisation (Ausbleichen). Findet dagegen die zweite Belichtung mit dem viel intensiveren Magnesiumlicht statt, so entsteht eine weitere Zunahme der Schwärzung beim Entwickeln ohne Solarisation. Besonders auffällig und merkwürdig ist die Erscheinung, daß das Licht der Glühlampe bei einer von 30 Sekunden auf 30 Minuten gesteigerter Exposition keine Verlängerung der Schwärzungsskala im Sensitometer bewirkt. Erst wenn man intensiveres Licht (Tageslicht, Magnesiumlicht) verwendet erhält man wesentlich weiter reichende latente Eindrücke.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Offenbar ist die Tendenz zur Umkehrung der photographischen Prozesse beim Jodsilber (bei Abwesenheit eines Jodakzeptors) so groß, daß sehr bald ein Gleichgewichtszustand eintritt, der ausschließlich von der Lichtintensität abhängt. Diese Dissoziation des Jodsilbers im Lichte und das Bestreben zur Wiedervereinigung zum Rücklauf führte Eder darauf zurück, daß an das im Lichte abgespaltene und an das Jodsilber angelagerte Jod vom Jodsilber nicht festgehalten wird, sondern zur rückläufigen Reaktion neigt. Nur Jodakzeptoren können diesen Rücklauf hemmen. Darüber wurde ausführlich berichtet in Eder, Photochemie 1906, S. 248, I, 1 vom „Ausführlichem Handbuch der Photographie," 3. Auflage.

Besonders stark tritt das Zurückgehen des Lichtbildes bei Quecksilberjodid-Emulsionen auf und der Charakter des „Schwarzschildeffektes" als Regression des primären photochemischen Prozesses ist nach Lüppo-Cramer (Phot. Korresp. 929, S. 100) besonders deutlich erkennbar.

Abhängigkeit des Schwarzschildschen Exponenten p von der Wellenlänge des Lichtes.

Der Anstieg der Schwärzungskurve oder der Gradation wird im Schwarzschildschen Schwärzungsgesetz durch Einführung des Exponenten p in die Formel $J \cdot t^p$ ausgedrückt und demzufolge muß die Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge auch in dem Werte für den Exponenten p ihren Ausdruck finden (vgl. XIII. Kapitel Seite 264).

Ebenso wie die Gradation gewöhnlicher blauempfindlicher Platten innerhalb der Spektralregion von Blau bis zu Beginn des Ultraviolett (innerhalb der Zone der effektiven Empfindlichkeit) annähernd als konstant gelten kann, fand auch E. Kron, daß p in dem Spektralgebiete von 490 bis 390 $\mu\mu$ unabhängig von der Wellenlänge (bei blauempfindlichen Platten) sei.

Dagegen hatte Eder bereits 1899 die Vermutung ausgesprochen, daß im allgemeinen der Exponent p von der Wellenlänge abhängig sei, was sich auch später als richtig erwies (s. XIII. Kapitel).

A. Hnatek kommt zu folgenden Schlußfolgerungen über den Zusammenhang des Schwarzschildschen Exponenten p mit der Wellenlänge und den Beziehungen zu der photographisch-photometrischen Bestimmung von Sterngrößen in der Astronomie (Z. f. wissensch. Phot. 1923):

„Nennt man die Grenzen der Empfindlichkeit einer Emulsion in dem jeweiligen Zustande, ob sensibilisiert oder nicht sensibilisiert, in welchem sie verwendet wird, λ_1 und λ_2, so hat man also mit Rücksicht auf die Farbe des Lichtes:

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1. Für eine bestimmte Emulsion ist stets

$$\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} p_\lambda \, d\lambda = \text{const.},$$

gleichgültig, ob man den zwischen λ_1 und λ_2 gelegenen Empfindlichkeitsbereich durch Sensibilisation mehr oder weniger oder gar nicht erweitert."

„Bekanntlich ist nach Schwarzschild p der Gewinn an Größenklassen, der durch eine Steigerung der Expositionszeit auf das $2\frac{1}{2}$ fache erzielt werden kann. Da p bei Schwarzschild als Plattenkonstante auftritt, ist bei ihm also auch der Gewinn an astronomischen Größenklassen von Sternen zwischen allen möglichen Expositionszeiten und ihrem $2\frac{1}{2}$ fachen unveränderlich. Hält man sich die hier gefundene Veränderlichkeit von p nach der Wellenlänge vor Augen, so würde für diesen Gewinn an Größenklassen nunmehr folgender Satz zu gelten haben:

2. Der Gewinn an Sterngrößenklassen, der bei einer Steigerung der Belichtungszeit auf das $2\frac{1}{2}$ fache erzielt werden kann, ist zwischen allen möglichen Expositionszeiten t und ihren zugehörigen Steigerungen $2{,}5 \times t$ für verschiedene Lichtquellen nur dann gleich, wenn diese Lichtquellen (Sterne) die gleiche spektrale Strahlung besitzen."

„Die Veränderlichkeit des Exponenten p mit der Wellenlänge ist insbesonders für die astrophotographischen Arbeitsmethoden von Bedeutung, wo es sich ja fast stets um Helligkeitsbestimmung von Sternen verschiedener Temperatur, also verschiedener spektraler Strahlung handelt, für welche eine Gleichheit des für den ganzen Empfindlichkeitsbereich der Platte geltenden mittleren p-Wertes nicht mehr vorausgesetzt werden darf. Gehören aber zu zwei verschiedenen Sternen auch verschiedene mittlere p-Werte, so ist klar, daß diese beiden Sterne, die bei einer bestimmten Expositionszeit vielleicht gleiche Schwärzungen liefern und demnach als photographisch gleich hell geschätzt werden, bei einer Änderung der Expositionszeit verschieden geschwärzte Bilder, also auch verschiedene photographische Helligkeit ergeben müssen." [1])

Die panchromatischen Bromsilbergelatine-Platten zeigen bei der Herstellung von Dreifarbennegativen hinter Rot-, Grün- und Blaufiltern eine hinlänglich gleichmäßige Gradation, so daß man auf einer einzigen Platte die drei Teilaufnahmen machen

1) Die ersten Beobachtungen von Phänomenen auf dem in Rede stehenden Gebiete fanden auf astronomischem Gebiete statt. Gelegentlich einer Studie „über Aktinometrie astronomisch-photographischer Fixsternaufnahmen" (1890) fand Miethe, daß sich bei der Aufnahme von roten Sternen und andererseits von blauen und weißen Sternen die photochemische Wirkung einer gewissen Menge Lichtes für verschiedene Vielfache dieser Lichtmengen nicht gleichen und daß demzufolge rote Sterne je nach der Expositionszeit im Verhältnis zu blauen und weißen Sternen einen stets wechselnden Aktinometerwert haben (siehe das Zitat Eders in Phot. Korresp. 1903, S. 238, 626 und 740; abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904, II, S. 109; woselbst auch die falschen, unrichtigen Versuche Prechts und seine Verschweigung der Priorität Miethes kritisiert sind.) — Erst Eders oben erwähnte Arbeit mit terrestrischen Lichtquellen u. monochromem Spektrallichte führte zur Erkenntnis dieses Phänomens.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

kann, sie dann auf der unzerschnittenen Platte gleichzeitig entwickelt und fertigstellt und dann erst zerschneidet und den Kopier- oder Dreifarbendruck-Prozessen zuführt.

Man könnte allerdings kleine Unterschiede in der Gradation durch die Zeitdauer der Entwicklung ausgleichen, aber die hiermit verbundenen Unsicherheiten erscheinen größer als der Gewinn an völliger Gleichartigkeit der Gradation der Teilnegative (vgl. XIII. Kapitel).

B. Die Schwarzschildsche Formel $J^q \cdot t$ im Schwärzungsgesetz.

K. Schwarzschild hat sein photographisches Schwärzungsgesetz außer der auf S. 177 gegebenen Formel noch in einer zweiten Form ausgedrückt

$$S = \varphi(J^q \cdot t)$$

welche gleichbedeutend ist, aber gewisse kleine Vorzüge von der zuerst von ihm verwendeten Gleichung (s. S. 177) aufweist. Diese Formel besagt, daß die photographische Wirkung von dem Produkte $J^q \cdot t$ abhängt, wo der Exponent q eine für die betreffende charakteristische Konstante (in der Regel größer als 1) ist und daß immer dann gleiche Wirkungen eintreten, wenn dieses Produkt gleich ist. — Schwarzschild veröffentlichte diese Arbeit unter dem Titel: „Über sensitometrische Regeln und ihre astronomische Anwendung“ in Eders Jahrbuch für Photographie 1900, S. 161.

Der Schwarzschildsche Exponent q kann leicht auf folgendem Wege ermittelt werden.

Man belichtet eine Bromsilber-Gelatineplatte mit der Lichtquelle (J) während einer bestimmten Zeit (t_1) (in Sekunden), bringt hierauf die Lichtquelle auf die zehnfache Entfernung, so daß die Lichtintensität auf $^1/_{100}$ ihres früheren Wertes sinkt. Darauf bestimmt man durch Probieren mit einer Serie von Belichtungszeiten die Zeit t_2, in welcher die Lichtquelle $J/_{100}$ dieselbe Schwärzung erzeugt, wie sie von der Lichtintensität J nach der Zeit t_1 hervorgebracht wurde. Dann gilt

$$t_1 \cdot J^q = t_2 \left(\frac{J}{100}\right)^q,$$

durch Logarithmieren erfolgt daraus

$$q = \frac{\log t_2 - \log t_1}{2},$$

wonach die Berechnung leicht vorgenommen werden kann.

Zur Durchführung dieser Versuche kann ein Eder-Hechtsches Sensitometer (Konstante 0,40) nebst Hefner-Kerze oder einer Scheinerschen Normal-Benzinlampe ohne Blende mit weißem Glaszylinder oder eine ähnliche konstante Lichtquelle benützt werden.

Vorteilhaft ist für diesen Arbeitsvorgang eine breit durchlaufende Sensitometerskala, wie sie in Abb. 129 dargestellt ist, welche Herlango in Wien erzeugt; man kann mit ihr leicht 5—6 Expositionen in schmalen Streifen vornehmen.

Man belichtet zunächst einen Streifen einer 9 × 12 cm-Platte beim Abstande von 30 cm während 10 Sekunden (t_1) und dann im Abstande von 3 m durch streifenweises Abdecken 20, 25, 30 und 40 Minuten oder länger (t_2). Nach dem Entwickeln und Fixieren vergleicht man die Schwellenwerte der getrockneten Platte an den letzten zartesten Sensitometernummern (Schwellenwert und nächste Nachbarschaft) t_2 die Expositionszeit, welche den Schwellenwert ergibt, so findet man $q = \frac{\log t_2 - \log t_1}{2}$.

Diese hier geschilderte Wirkung einer Normalkerze auf die Erreichung des Schwellenwertes verglichen mit einer um das 100fache veränderten Lichtintensität ergibt eine für verschiedene Sorten von Trockenplatten charakteristische Größe und kann somit als beachtenswerter Faktor zur Charakteristik einer Emulsion dienen, selbst wenn das p in den Zonen stärkster Schwärzung variabel ist (ähnlich wie q), Man soll aber die Ermittlung des q auf den effektiven Schwellenwert und nicht auf einen beliebig starken Schwärzungsgrad beziehen (Eder, Phot. Korr. 1922, S. 22), wenn man diese Methode zur Charakteristik von Emulsionen verwertet.

Bei rapiden Bromsilber-Gelatineplatten für Porträte (Schleußnerplatten) fand Schwarzschild damals z. B. $q = 1{,}12$, bei Lumière-Platten $= 1{,}04$, bei Agfa (Berlin) und Schattera (Wien) $= 1{,}16$.

J. M. Eder fand im Jahre 1920 bei Handelssorten von hochempfindlichen Bromsilber-Gelatineplatten meistens $q = 1{,}08$ bis 1,19, in wenigen Fällen $= 1{,}04$, in seltenen Fällen $= 1{,}24$. Wenig empfindliche Bromsilber-Gelatine mit Entwicklung zeigte mitunter den ziemlichen kleinen Wert von 1,05. Diese Werte wurden in einem Intervalle von der Lichtintensität 1 bis 100 ermittelt, liegen somit im Rahmen der praktischen Verhältnisse für Porträt- und Landschaftsaufnahmen usw. (Eder, Phot. Korr. 1922, S. 22.)

Allerdings ergaben spätere Untersuchungen, daß auch der Exponent q ähnlich wie p bei sehr starken Lichtintensitäten und sehr starken Schwärzungen sich ändert, aber vermindert, somit nicht streng konstant, sondern etwas variabel ist; das q kann unter diesen Umständen auf den Wert $= 1$ sinken, ja sogar kleiner als 1 werden.

Schwarzschild hat bereits im Jahre 1900 (Jahrb. f. Phot.) berücksichtigt, daß der Exponent q bei starken Lichtintensitäten (Expositionen) nicht als Konstante,

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

sondern als Variable auftritt. „Es läßt sich aber die vollständige Empfindlichkeitsbestimmung mit seiner Formel mit großer Genauigkeit erreichen (sagt Schwarzschild a. a. O. S. 167), indem man nicht nur einen Mittelwert von q, sondern eine ganze Tafel für q aus Versuchen mit stark wechselnden Intensitäten und Expositionszeiten ableitet. — Da nun q eine jedenfalls sehr langsam sich ändernde Größe ist, so wird man mit einer sehr kleinen Tafel für q auskommen (Eder, Jahrb. für 1900, S. 175), die man der Schwärzungskurve beigeben muß und welche sich bei Verminderung der Genauigkeitsansprüche auf wenige, zuletzt auf eine einzige Zahlenangabe reduziert". Dies ist der Vorteil, den man durch das Ausgehen von der obigen zweiten Schwarzschildschen Formel erreicht.

II. Das Kronsche Schwärzungsgesetz.

Erich Kron[1]) führte bei seinen Studien über das „Schwärzungsgesetz photographischer Platten", die er über Anregung durch Schwarzschild am Astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam in Fortsetzung der Untersuchungen Schwarzschild machte und im Jahre 1913 publizierte, den Begriff der „optimalen Intensität" in die photographische Sensitometrie ein.

Er geht von der Beobachtung aus, daß es für jede Plattensorte eine bestimmte Lichtintensität gibt (s. S. 175), bei der die Energiezufuhr auf die zu belichtende Platte am günstigsten wirkt. — Er nennt dies „die optimale Intensität". Sie ist für die diversen Plattensorten verschieden. Je größer die Empfindlichkeit ist, desto kleiner ist die „optimale Intensität" einer photographischen Platte. Die „optimale Intensität" und der Verlauf der Kurve konstanter Schwärzung hängen von der Gradation der verwendeten Platte ab; diese prüft Kron mit einer Zeitskala und fand, je kontrastreicher die Gradation einer Platte ist, um so größer ist die „optimale Intensität", d. h. umso größer ist die Geschwindigkeit der Energiezufuhr, bei welcher die beste Energieausnützung für die Schwärzung der Platte erfolgt. — Je geringer die Gradation ist, um so geringere Lichtmenge ist nötig, um den optimalen Effekt in der Schwärzung zu erzielen. — E. Kron drückte die Kurven konstanter Schwärzung durch eine mathematische Formel aus und kam durch seine grundlegenden Studien zu einer neuen mathematischen Form des Schwärzungsgesetzes,

1) Erich Kron wurde am 13. Juli 1881 in Potsdam geboren, studierte in Berlin, machte 1906 sein Doktorexamen, wurde Assistent am Potsdamer Astrophysikalischen Observatorium, wo er auf Veranlassung und unter Leitung Schwarzschilds seine Untersuchungen über das Schwärzungsgesetz photographischer Platten ausführte. Im Weltkriege rückte er zum Militär ein und fiel in Flandern am 24. Okt. 1917. (Nekrolog in dem Astronomischen Nachrichten, Bd. 205, 1917, S. 223.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

das seine Gültigkeit auf größere Intervalle der wirkenden Lichtmengen erstreckt als das einfachere Schwarzschildsche Schwärzungsgesetz.

E. Kron[1]) begründet sein Schwärzungsgesetz durch nachfolgende Ausführungen:

„Zuerst nahm man die Gültigkeit eines einfachen Reziprozitätsgesetzes an, wonach S nur von dem Produkte $P = J \cdot t$ abhängen sollte. Hatte man also mit gegebenen J_1 und t_1 eine Schwärzung S_1 erhalten, so sollte dieselbe Schwärzung S_1 mit $\frac{1}{n}J_1$ bei n-facher Expositionszeit t_1 erzeugt werden. Versuche vieler Autoren zeigten aber übereinstimmend, daß man bei Verwendung kleinerer Intensitäten relativ länger exponieren mußte als das genannte Reziprozitätsgesetz erfordern würde. Dieser Tatsache kann man nach Schwarzschild Rechnung tragen, wenn man sagt, die photographische Wirkung auf die zu erzeugende Schwärzung hänge von dem Produkte $P' = Jt^p$ oder in noch vorteilhafterer Schreibweise von $J^q t$ ab, wo p q zwei für die betreffende Plattensorte charakteristische Konstanten seien, von denen p bei den Versuchen im allgemeinen sich kleiner als 1 ergeben hatte. In letzter Zeit sind nun aber zahlreiche Arbeiten erschienen, die eine systematische Veränderlichkeit auch des Exponenten p nachweisen."

„Wenn es feststeht, daß p doch keine Plattenkonstante ist, dann verliert es seine charakteristische Bedeutung, um derentwillen es eingeführt worden ist, und man tut gut, auf die allgemeine Form des Schwärzungsgesetzes

$$S = p\,(J, t)$$

zurückzugreifen. Um nun diese Funktion p empirisch zu bestimmen, nehme man eine geometrische Darstellung zu Hilfe. Man variiere J und t in weiten Grenzen und stelle alle diejenigen Paare (log J, log t) zusammen, die gleiche Schwärzung ergeben haben. Aus praktischen Gründen trage man log J als Abszissen, x, log (Jt) als Ordinaten, y, eines rechtwinkligen Koordinatensystems für alle Werte beider Variabeln, welche gleiche Schwärzung erzeugt haben, auf; dann wird man für jede konstante Schwärzung je irgend eine Kurve erhalten: „Kurven konstanter Schwärzung". Die Gesamtheit dieser

1) Eders Jahrb. f. Photogr. 1914, S. 6. Kurzer Auszug aus der ausführlichen Abhandlung, die von E. Kron in Nr. 67 der „Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam" Bd. 22, 1913, veröffentlicht worden ist. — Ferner E. Kron, Annal. d. Physik. 1913, Bd. 41, S. 751.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Kurven für alle Schwärzungen gibt den geometrischen Ausdruck für das Schwärzungsgesetz. Die Diskussion dieser Kurven für alle Schwärzungen wird die Art der Abhängigkeit der Schwärzungen von ihren beiden Variabeln J und t, natürlich sets dieselben normalen Entwicklungsbedingungen sowie dieselbe Plattensorte vorausgesetzt, erkennen lassen."

„Bezeichnet man irgend zwei Lichtmengen, welche die gleiche Schwärzung erzeugt haben, mit $Jmtm$, $Jntn$, so hat man im Falle der Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes

$$\log (Jmtm) = \log (Jntn) = y = \text{const},$$

eine Gleichung, die eine horizontale Linie geometrisch darstellt. Gilt die Schwarzschildsche Formel $J^q t$, so wird man folgende Gleichung erhalten:

$$\log (Jmtm) = (1 - q) [\log Jm - \log Jn] + \log (Jntn) = \text{const},$$

deren geometrischer Ausdruck eine Gerade mit der Steigung $(1 - q)$ ist. Erhält man irgendwie gekrümmte Kurven, so werden die Krümmungen dieser Kurven die Abweichungen von den beiden genannten Formeln bedeuten."

„Um solche „Kurven konstanter Schwärzung" zu erhalten, sind, wie gesagt, $\log J$ und $\log t$ in weiten Grenzen so zu variieren, daß gleiche Schwärzungen erzeugt werden. Ich habe diese Versuche an vier Plattensorten, und zwar an den empfindlichen Platten Schleußner, blaue Etikette, und Seed 27, sowie an den Diapositivplatten „Agfa" und „Ideal", für einen Variationsbereich der Intensität von etwa $1:10^{45}$ bei einer Maximalintensität von etwa 70 HK. und bei Expositionszeiten von 5 Sekunden bis über $3^1/_2$ Stunden angestellt. Es ergab sich das Resultat, daß die „Kurven konstanter Schwärzung" mit sehr großer Annäherung als parallel bezeichnet werden dürfen [1]), so daß sie durch Verschiebung parallel zur Ordinatenachse, ententsprechend einer Änderung der Zeiteinheit, zur Deckung gebracht werden können. Daraus folgt, daß alle „Zeitskalen" gleich sein müssen. Was ich unter dieser Aussage verstehen will, soll folgendes Beispiel zeigen. Es seien bei einer festen Intensität J und den Expositionszeiten 4^s, 8^s, 16^s, 32^s, . . ., die bekanntlich eine geometrische Reihe bilden, die Schwärzungen S_1, S_2, S_3, S_4, . . ., beob-

1) Die Parallelität der Kurven der konstanten Schwärzung untersuchten E. F. M. van der Held und B. Baars. Z. f. Physik, 45, 1927, pp. 364—8. Sie exponierten Bromsilber-Gelatineplatten mit Zeit-Variationen von 1 : 1000 und fanden keine Abweichungen der Parallelität dieser Kurven im Sinne des Kronschen Schwärzungsgesetzes.

achtet, welche ich eine „Zeitskala“ nennen will. Andererseits werde die genannte Schwärzung S_1 bei einer Expositionszeit von 20^s mit der Intensität J' erzeugt, die man aus der für die Schwärzung S_1 geltenden „Kurve konstanter Schwärzung“ leicht ablesen kann. Ferner seien mit der konstanten Intensität J' in den Expositionszeiten 20^s, 40^s, 80^s, 160^s, . . ., die demselben Bildungsgesetze folgen, die Schwärzungen $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, \ldots$ beobachtet, die ihrerseits wieder eine Zeitskala bilden. Dann findet man das merkwürdige Resultat:

$$S'_1 = S_1, S'_2 = S_2, S'_3 = S_3, S'_4 = S_4, \ldots$$

Aus der Gleichheit der Zeitskalen folgt als einfacher mathematischer Ausdruck für das Schwärzungsgesetz

$$S = \chi\ (s),\ s = t \cdot \psi\ (J),$$

wo ψ eine für die Platten s o r t e charakteristische Funktion bedeutet und s als Maß der latenten Schwärzung aufgefaßt werden kann. Die Bedingung gleicher Schwärzung lautet dann allgemein

$$t \cdot \psi\ (J) = \text{const.}$$

„Über die Funktion ϕ läßt sich nun auch genaueres aussagen. Führt man die Parallelverschiebung aller Kurven konstanter Schwärzung wirklich aus und vereinigt sie zu einer einzigen mittleren Kurve, so erhält man für die vier untersuchten Plattensorten verschieden stark gekrümmte Kurven, die sich mit großer Genauigkeit d u r c h Hyperbelbögen darstellen lassen, deren k o n v e x e Seite der Abszissenachse zugekehrt ist. Läßt man systematische Fehler bis zu 10 Prozent zu, so gibt eine gute Darstellung meiner (Krons) Resultate die Exponentialformel

$$\psi\ (J) = J \cdot 10^{-\alpha \sqrt{(\log \frac{J}{J_0})^2 + 1}},$$

wo die Konstanten für die vier Plattensorten folgende Werte haben:

Agfadiapositiv	$\alpha = 0{,}22$	$J_0 = 1{,}7$ Meter-Hefnerkerzen,
Idealdiapositiv	$\alpha = 0{,}11$	$J_0 = 0{,}59$ „
Schleußner, blau	$\alpha = 0{,}19$	$J_0 = 0{,}042$ „
Seed 27	$\alpha = 0{,}21$	$J_0 = 0{,}013$ „

Der Zusammenhang dieser Formel mit den älteren läßt sich leicht angeben. 1. Die Krümmung α dieser H y p e r b e l n gibt die Abweichungen des wahren Schwärzungsgesetzes vom Reziprozitätsgesetze. 2. Will man annehmen, daß die Kurven konstanter Schwärzung auch außerhalb des von mir untersuchten Intensitätsbereiches Hyperbeln sind, so würde aus der angegebenen Formel folgen:

für große Intensitäten: $\psi\ (J) = J_0^{+\alpha} . J^{1-\alpha}$,

für kleine Intensitäten: $\psi\ (J) = J_0^{-\alpha} . J^{1+\alpha}$,

wo J_0^{+a} und J_0^{-a} Konstanten bedeuten und $a > 0$ ist. Die Schwarzschildsche Formel $\psi(J) = J^q$ erscheint hiernach als der für kleine Intensitäten gültige Grenzfall mit Werten von $p = \frac{1}{q} = \frac{1}{1+a} < 1$, wie die älteren Versuche sie stets ergeben haben."

„Der tiefste Punkt der Kurven konstanter Schwärzung gibt für jede Plattensorte eine bestimmte Intensität, bei der die Energiezufuhr auf die zu belichtende Platte am günstigsten wirkt: optimale Intensität. Die Expositionszeiten, welche unter Verwendung dieser optimalen Intensität zur Erzeugung von mittleren Schwärzungen bei normaler Entwicklungsart nötig waren, lagen — in ganz roher Angabe der Größenordnung, um nur einen praktischen Anhaltspunkt zu geben — bei etwa 2 Minuten. Für die vier untersuchten Plattensorten ist die Größe der optimalen Intensität von der Empfindlichkeit, oder, womit man vielleicht der Wahrheit noch näher kommt, von der Gradation abhängig. Einige Nebenversuche über den Einfluß einer veränderten Entwicklung auf die Kurven konstanter Schwärzung haben gezeigt, daß die optimale Intensität auch von der Entwicklungsdauer abhängt, in der Weise, daß erstere um so größer wird, je länger die Entwicklung gewährt hat."

„Will man die Änderung der Expositionszeiten als photographisch-photometrisches Meßprinzip weiterhin praktisch verwenden, so hat man zunächst für die benutzte Plattensorte eine Kurve konstanter Schwärzung herzustellen, dann mit Hilfe des Reziprozitätsgesetzes diejenigen Intensitäten zu berechnen, die mit den benutzten Vielfachen der Expositionszeiten gleiche Schwärzungen ergeben haben würden, wenn das Reziprozitätsgesetz in aller Strenge gelte, und schließlich hat man an diese berechneten Intensitäten diejenigen Korrektionen anzubringen, welche man aus der Kurve konstanter Schwärzung mit den entsprechenden Intensitäten als Argument entnimmt."

„Zum Schlusse möchte ich noch bemerken, daß diese Resultate durchaus nicht alle neu sind, nur sind sie meines Wissens noch nicht in dieser systematischen Weise abgeleitet und zusammengestellt worden, wie es hier geschehen ist."

Erich Kron studierte auch den Einfluß des Entwicklers und der Dauer der Entwicklung. Er fand, daß der einzige Effekt der Verlängerung der Entwicklungsdauer eine Vergrößerung des Wertes der optimalen Belichtung ist; die Veränderungen waren größer bei Emulsionen geringer Empfindlichkeit,

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

aber es trat keine bemerkenswerte Änderung der Form der „Kurve der konstanten Dichte“ ein (log $J \cdot t$ und log J). Später untersuchten L. A. Jones, V. C. Hall und R. M. Briggs (Journ. Opt. Soc. Amer. 1927. Bd. 14, S. 223) dies eingehend, indem sie bei der Konstruktion der Kurven das „Kron-Halmsche“ Schwärzungsgesetz benutzten; sie variierten die Belichtungszeit und Intensität in weiten Grenzen und die Entwicklungszeit bei Verwendung von verschiedenen Entwicklern mit verschiedenem Reduktionspotential, das sie für Eisenoxalat = 0,6, für Hydrochinon = 1,0, für Paramidophenol-Soda = 6,0, für Pyrogallol-Soda = 16, für Metol = 20 und für Diamidophenol = 35 ansetzten. Die Form der Kurven konstanter Dichte ist im allgemeinen gleichartig. Entwickelt man mit Eisenoxalat entsprechend lang (1 Stunde), so erreicht man ungefähr den Effekt der organischen Entwickler. Es wurde gefunden, daß der Haupteffekt einer sehr verlängerten Entwicklungsdauer in der Erhöhung der optimalen Intensität auf einen höheren Wert besteht und daß weder die verschiedene Entwicklungskraft, noch die chemische Konstitution der Entwicklersubstanzen Einfluß auf die Gestalt (shape) der Kurven konstanter Dichten hat.

Das E. Kronsche Schwärzungsgesetz ist ein bedeutender Fortschritt in der wissenschaftlichen Erfassung der hierhergehörigen photographischen Vorgänge bei Bromsilber-Gelatine mit Entwicklung.

Allerdings ist die Kronsche Formel für die angewandte Photographie und die technische Plattenprüfung weniger praktikabel als die Schwarzschildsche, die als Näherungsgesetz sehr gut verwendbar ist.

III. Untersuchungen über das Kronsche Schwärzungsgesetz von L. A. Jones, E. Huse u. V. C. Hall und Transformation des Kronschen Schwärzungsgesetzes [1]).

Das Kronsche Schwärzungsgesetz wurde insbesondere von amerikanischen Forschern nachgeprüft und weiter ausgebildet [1]).

Sie gingen von der Beobachtung Krons aus, daß man die

1) L. A. Jones u. E. Huse „On the relation between time and intensity in photographic exposure II“ (Journ. Optic. Soc. Americ. 1925, Bd. 11, S. 319; Abridged Scient. Public. Eastman Kodak 1925, Nr. 233; Science et Ind. Phot. 1925, Bd. 5, S. 89). Ferner: Loyd A. Jones, Emery Huse and Vincent C. Hall, „On the relation between time and intensity in photographic exposure“. (Jour. Opt. Soc. Americ., April 1926, Bd. 12, S. 321). — Jones u. Hall, Phot.-Industrie 1928, S. 805 nach dem Londoner Photogr. Kongress-Berichten 1928.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

gebogene Schwärzungskurve sowohl durch eine Hyperbel als auch durch eine Kettenlinie ausdrücken könne. Die Betrachtungen über die hyperbolische Form gestaltete Kron in seinem Schwärzungsgesetz aus, wogegen Jones, Huse und Hall auf der (gleichfalls von Kron erwähnten) Form der Kettenlinie („catenary form") weiterbauten.

L. A. Jones und E. Huse (Eastman Kodak-Berichte Nr. 233, Mai 1925) finden, daß das Kronsche Gesetz für Bromsilber-Gelatine-Emulsion viel besser den photographischen Schwärzungsvorgängen entspricht als das Schwarzschildsche.

Durch die Untersuchungen von L. A. Jones, E. Huse und V. C. Hall, welche im Forschungs-Laboratorium der Eastman Kodak Co. in Rochester ausgeführt wurden, erhielten diese Studien über das Kronsche Gesetz eine abschließende Zusammenfassung. Diese Forscher fanden, daß die starken Abweichungen der Schwärzung von dem alten einfachen Reziprozitätsgesetz ($E = J.t$) bei Verwendung von orthochromatischen Platten etwas größer als bei rapiden blauempfindlichen Platten sind.

Wenig empfindliche Prozeßplatten und Diapositiv-Emulsionen zeigen sehr starke Abweichungen von dem Reziprozitätsgesetz und auch einen bemerkenswerten Wechsel des Wertes für Gamma mit der Intensität.

Im allgemeinen erscheint die Abhängigkeit der Dichte von der Änderung der Lichtintensität für hochempfindliche Platten geringer. Die Kronsche sogenannte „optimale Lichtintensität" hat hierfür einen niedrigen Wert und das Gamma ist unabhängig von der Lichtintensität.

In Abb. 66 und 67 sind verschiedene Kurven konstanter Schwärzung im Sinne Krons nach den Messungen von Jones, Huse und Hall mit Eastman-Kodak-Filmen abgebildet.

Rapide blauempfindliche, panchromatische und orthochromatische Emulsionen gaben parallele Kurven der optimalen Schwärzung, die sich der Formel von Kron-Jones gut anschließen.

Für unreife, weniger empfindliche Bromsilber-Emulsionen ist die Variation der Dichte mit der Intensität groß, die „optimale Intensität" ist hoch und das Gamma sinkt gegen die geringen Intensitäten. — In Übereinstimmung mit Kron wurde gefunden, daß die „optimale Intensität" sich mit zunehmender Entwicklungsdauer zu höheren Werten ändert, was besonders beim Pyrogallol-Soda-Entwickler hervortritt.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Aus den eingehenden Untersuchungen von Jones, Huse u. Hall (Journ. Opt. Soc. Americ. 1926, Bd. 12. S. 321) geht hervor, daß die beobachtete Abhängigkeit des Gammas von der Intensität die Folge der Mischungsverhältnisse von Bromsilber verschiedener Korngröße und verschiedener Empfindlichkeit ist.

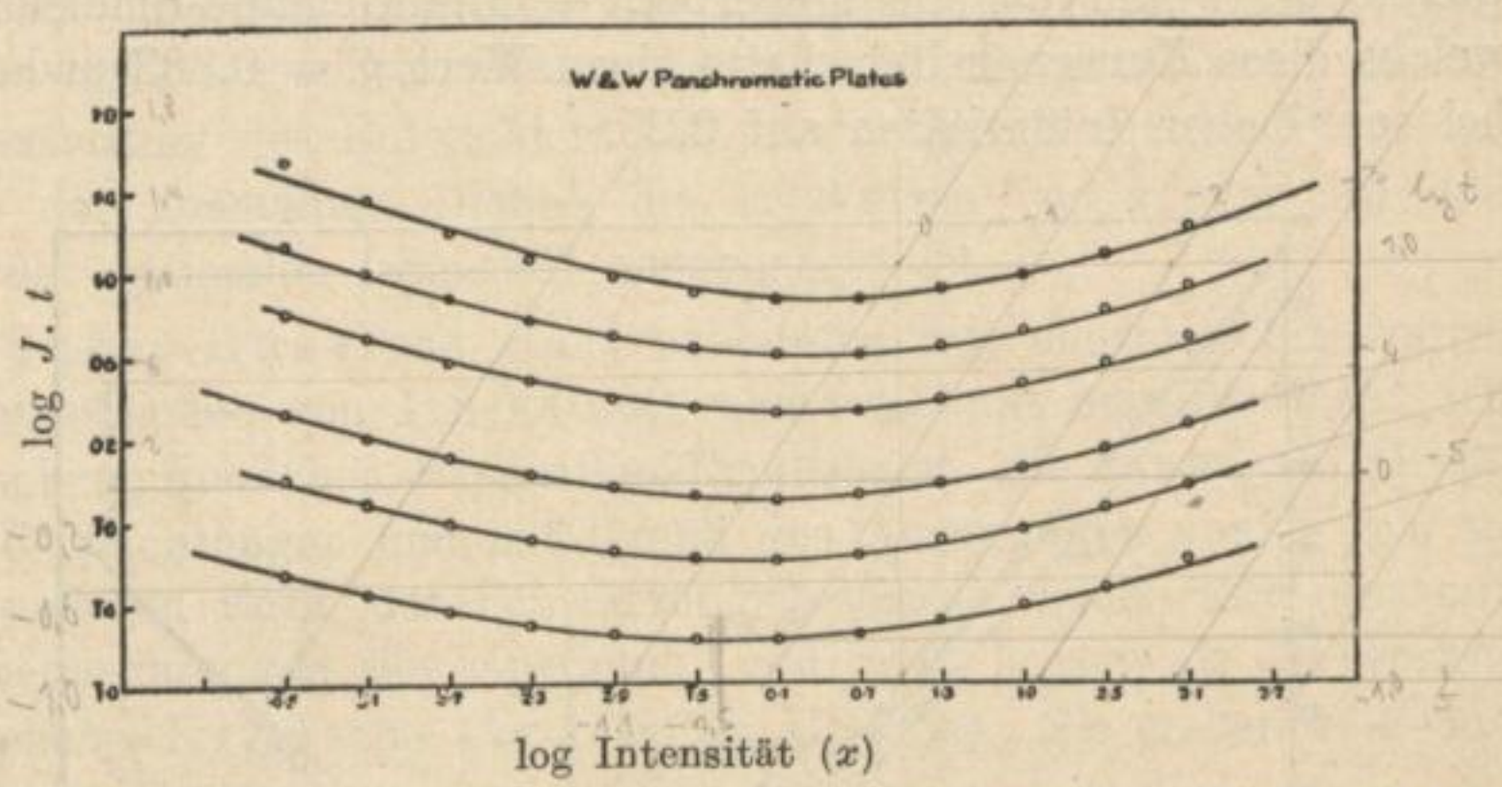


Abb. 66. Kurven konstanter Schwärzung mit panchromatischen Platten: 66 zeigt die beobachteten Werte, 67 die berechneten (nach Kurvenform der Kettenlinie).

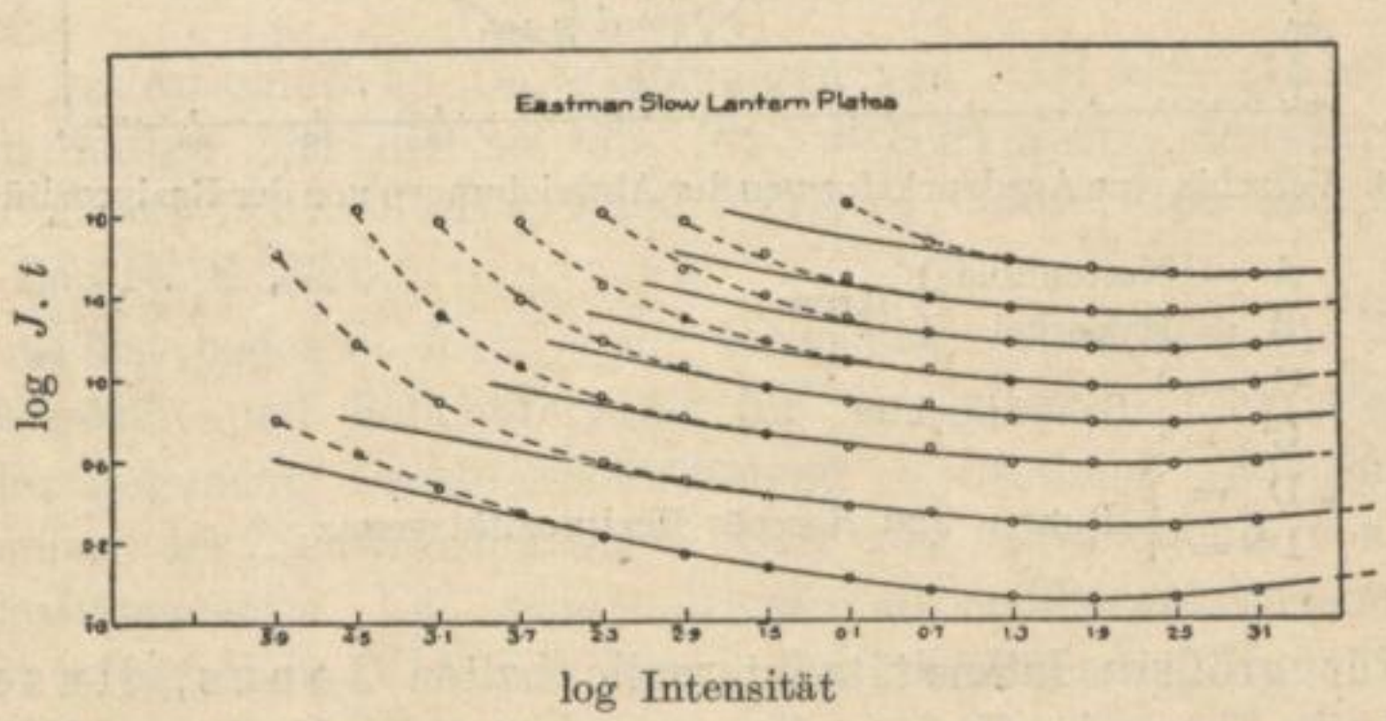


Abb. 67. Kurven konstanter Schwärzung mit Eastman Diapositivfilmen. — Die Beobachtungen zeigen starke Abweichungen mit steigendem log. *Jt*.

Es ist interessant, das Verhältnis der verschiedenen Schwärzungsgesetze bei der Wiedergabe der Reziprozitätsfehler graphisch darzustellen, wie dies Jones, Huse und Hall in Abb. 68 (Journ. Opt. Soc. Amer. 1926, Bd. 12, S. 337) getan haben.

Aus dieser Abbildung (68) geht hervor, daß die Schwarzschildsche Ausdrucksform der Schwärzungskurve die Asymptote der beiden hyperbolischen und Kettenlinien-Funktionen von Kron ist. Man

kann erkennen, wie die letzteren Formen (A und B) in den geringen Werten der optimalen Intensität abweichen, aber wie im weiteren Verlauf die gerade Linie nach der Schwarzschildschen Gleichung an die zwei Kronschen Kurven anschließt. Für Intensitäten größer als 0,01 entfernt sich die Kettenlinie weiter von der Schwarzschildschen Gleichung, weiter als die Hyperbel. — Die Gelatine-Emulsion, für welche diese Kurven gelten, hatte einen Wert $p = 0{,}833$ und wuchs bei sehr hohen Intensitäten auf 0,25.

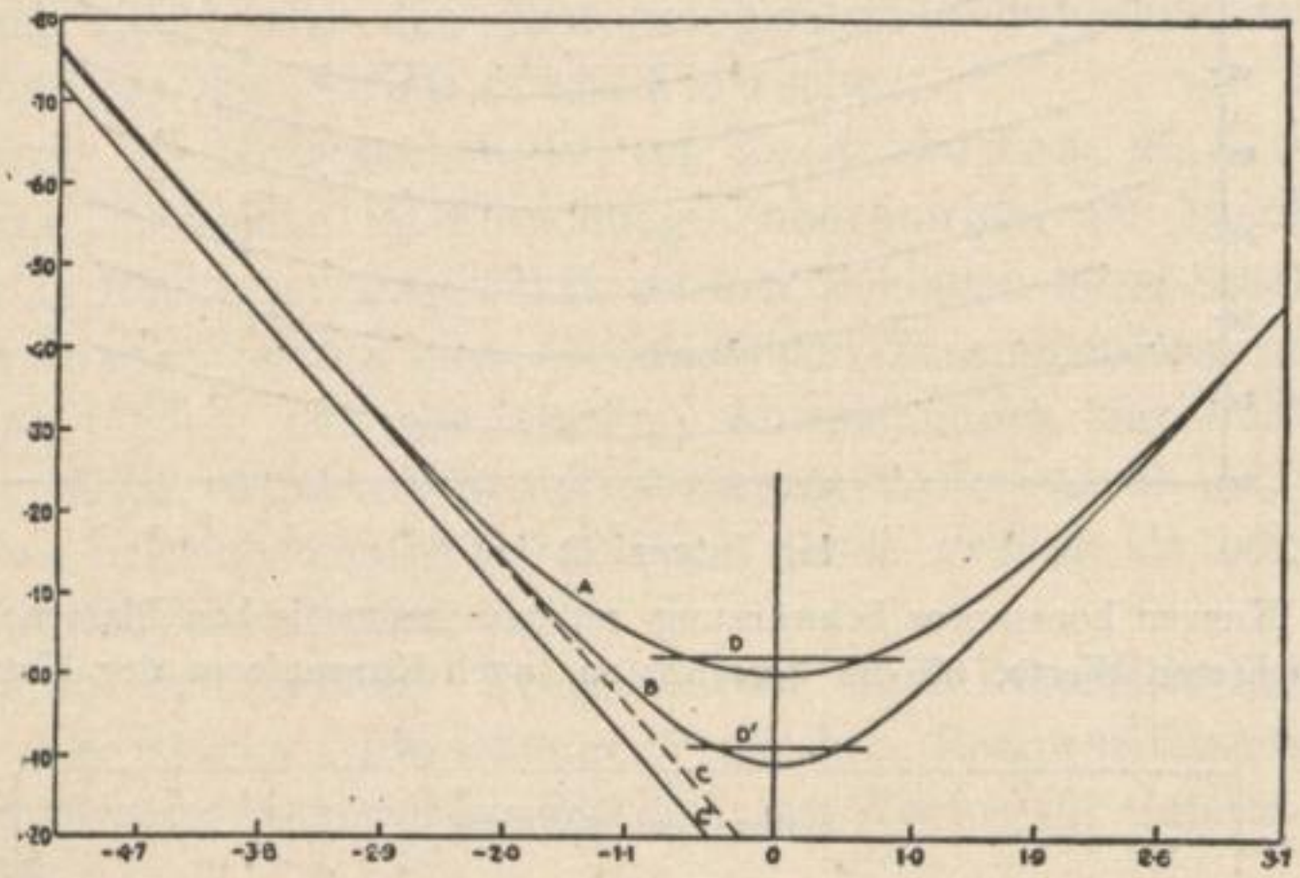


Abb. 68. Verschiedene Ausdrucksformen der Abweichungen von der Reziprozitätsregel.

A = Kettenlinie, B = Hyperbel } Kron
C, C' } Schwarzschild
D, D' } Bunsen und Roscoës Reziprozitätsgesetz

Für größere Intensitäts-Intervalle halten Jones, Huse und Hall die Kronsche Formel nach Art der Kettenlinie für etwas besser als die Hyperbelform, während die Schwarzschildsche Formel nur innerhalb enger Grenzen gilt.

In späteren Untersuchungen mit einer großen Anzahl Emulsionen im Eastman-Kodak-Laboratorium (Bromsilber und Jodbromsilber) fanden L. A. Jones, V. C. Hall und R. M. Briggs (Journ. Opt. Soc. Amer. 1927, Bd. 14, S. 223), daß die Kron-Halmsche Formel (s. S. 199) die Kurven der konstanten Dichte in der Region der optimalen Intensität gut wiedergibt und daß diese Formel von der Form der Kettenlinie sich den Beobachtungen besser an-

paßt, als die hyperbolische Form. Verlängerte Entwicklungszeit schiebt die Kurven der optimalen Intensität auf einen höheren Wert, aber die Kurvatur bleibt annähernd gleich; zwischen dem Werte von a in der Gleichung und der Entwicklungsdauer besteht keine Abhängigkeit. Der Einfluß verschiedener Entwicklungsarten auf die Größe und den Charakter der Reziprozitäts-Fehler ist geringer, als man erwarten sollte. Weder die reduzierende Kraft noch die Zusammensetzung des Entwicklers hat einen Einfluß auf die Form der Kurve der konstanten Dichte, die in Werten von a oder auf den Wert der optimalen Intensität ausgedrückt ist.

Jones, Huse und Hall arbeiteten mit enormen Intervallen der Expositionen von 1:8 000 000, und zwar mit unreifen und auch mit hochempfindlichen Bromsilber-Emulsionen. Sie kamen auf Grund ihrer Beobachtungen und auf Grund der Anregungen von Kron zu einer anderen Form des Schwärzungsgesetzes, welche sehr gut mit den Beobachtungen übereinstimmt, und zwar besser als die vorhin angegebene Kronsche Form seines Gesetzes. Sie geben folgende empirische Formel:

$$J \cdot t = \frac{J_0 t_0}{2}\left[\left(\frac{J}{J_0}\right)^a + \left(\frac{J}{J_0}\right)^{-a}\right],$$

die sie im Anschluß an Untersuchungen von J. Halm (1915) aufgestellt hatten und die sie die Kron-Halmsche Schwärzungsformel nennen (Jones, Hall und Briggs, Journ. Opt. Soc. Amer. 1927, Bd. 14, S. 224).

Daselbst bedeutet $E = Jt$ die Exposition, J_0 und t_0 die Werte der Intensität und Belichtungszeit für die optimale Lichtintensität und die gegebene Dichte (Schwärzung) a bestimmt (govern) die Krümmung der Schwärzungskurve oder die Abweichung von dem Reziprozitätsgesetz. Für eine normale Bromsilbergelatineemulsion variiert a zwischen 0,16 und 0,24, aber gewöhnlich gilt der Wert 0,20. Dieser Wert ist unabhängig vom Entwickler und praktisch unabhängig von der Zeitdauer der Entwicklung für eine gegebene Dichte. Optimale Intensität neigt in der Richtung einer höheren Intensität für wenig empfindliche Emulsionen, höherer Dichte und längerer Entwicklung. Die Variationen von Dichte — log Intensität für konstante Exposition zeigen eine optimale Intensität ebenso, während für kleine Intensitäten auf die wenig empfindlichen die entwickelbare Dichte zu einer kleinen Fraktion der optimalen sinkt. Hierdurch und durch die Tatsache, daß die entwickelbare Maximaldichte bei kleinen Lichtintensitäten sinkt, wird gefolgert, daß kleine wenig empfindliche

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Bromsilberkörner „inert“ (indifferent) werden für kleine Lichtintensitäten. Die Versuche wurden mit einer Sektorenscheibe mit nur einer Umdrehung (Zeitskala) bestimmt; J und t waren Lichtintensität (von 0,000 08 bis 1,280 Meterkerzen) und Belichtungszeiten von 0,000 12 Sekunden bis 72 Stunden (Brit. Journ. Phot. 1928. S. 421; Phot. Indust. 1928. S. 805).

Beim Logarithmieren ergibt sich die Formel

$$\log J \cdot t = \log {}^1/_2 \left[\left(\frac{J}{J_o}\right)^a + \left(\frac{J}{J_o}\right)^{-a}\right] + \log J_o t_o$$

welche Jones, Huse und Hall in sehr guter Übereinstimmung mit den Befunden mit hochempfindlichen und wenig empfindlichen Platten und hohen wirkenden Lichtintensitäten fanden. Darin bedeutet J_o die „optimale Intensität“ der Emulsion im Sinne der Definition Krons. t_o ist die Expositionszeit für die optimale Intensität, die zur Erreichung jener Dichte notwendig ist, für welche die Kurve gezeichnet ist.

Nach F. Formstecher (Phot. Ind. 1927, S. 575) läßt sich die Halmsche Formel, die gut mit den Beobachtungen übereinstimmt, folgendermaßen formulieren:

$$\sigma = \frac{2 \cdot i \cdot T}{i^a + i^{-a}}$$

wo σ die Schwärzung („latente Schwärzung“),

$i = \frac{I}{I_o}$ (I^o optimale Intensität im Sinne Krons),

$T = \frac{t}{t_o}$ (t die Belichtungszeit und t_o optimale Belichtungszeit im Sinne Krons)

und a einen weiteren Emulsionsparameter bezeichnen.

IV. Das photographische Schwärzungsgesetz von Hugo Maria Kellner.

Die Ableitung der mathematischen Beziehungen zwischen Schwärzung, Lichtintensität und Belichtungszeit aus der empirischen Schwärzungskurve versuchte Hugo Maria Kellner (Z. f. wiss. Photogr. 1926, Bd. 24, S. 53). Er diskutierte die physikalische Bedeutung des Schwarzschildschen Exponenten p und stellte für die gesetzmäßige Beziehung zwischen diesem und der wirkenden Lichtmenge eine Formel auf. Es müssen die Forderungen erfüllt werden, daß einerseits bei verschwindendem $J \cdot t$ auch die Schwärzung verschwinden muß, andererseits, daß mit unendlich werdenden $J \cdot t$ die Schwärzung konstant wird. Diesen Bedingungen genügt nach Kellner eine e-Funktion vom allgemeinen Typus

$$Y = a\, e^{-\frac{b}{x}},$$

der er für den gegebenen Fall die spezielle Form gibt:

$$S = m\, e^{-\frac{g}{\sqrt[3]{Jtp}}},$$

worin S die Schwärzung m, g und p als Konstanten auftreten und e die Basis der natürlichen Logarithmen, J (Lichtintensität) und t (Belichtungszeit) ist.

Durch Einsetzen berechnet er die Konstanten

$$g = 3.60 \text{ und } m\ 2.748,$$

woraus die spezielle Gleichung

$$S = 2{,}748 \cdot e^{-\frac{3{,}60}{\sqrt[3]{Jtp}}}$$

folgt. — Die Richtigkeit dieser Gleichung kontrolliert Kellner dadurch, daß sie die experimentell gefundenen Werte einer Bromsilber-Gelatine-Platte richtig wiedergab. — Er kommt zu dem Schlusse, daß die oben angegebene Formel das allgemeine Schwärzungsgesetz darstelle.

F. Formstecher findet das Kellnersche allgemeine Schwärzungsgesetz unzweckmäßig formuliert (Phot. Ind. 1927, S. 575) und ist der Ansicht, daß das Verhältnis der angewandten Exposition zur optimalen (im Sinne von Kron) zu benützen sei. Er gibt, soweit es auf das Gesetz der latenten Schwärzung ankommt, der auf Grund des Kronschen Gesetzes von Halm (s. S. 199) abgeleiteten Formel den Vorzug, die am besten mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Formstecher setzt nämlich an der Formulierung Kellners folgendes aus: Er stellt die unbenannte Größe p als Funktion der benannten Größe (It) dar, deren numerischer Wert ganz von der Wahl der Einheiten für I und t abhängt. Er kommt daher zu der unmöglichen Schlußfolgerung, daß p ein Minimum erreicht für log $It = \pm a$, ein Minimum für log $It = 0$. In einem allgemeinen Schwärzungsgesetz darf natürlich nur eine unbenannte Größe zur Charakterisierung der Exposition eingeführt werden. Gewöhnlich verwendet man das Verhältnis der angewandten Exposition zur optimalen Exposition im Sinne von Kron. Unter diesen Gesichtspunkten müßte also die Formel Kellners für p und des weiteren auch seine für die Schwärzung angegebene Formel umgestaltet werden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

V. Über die Darstellung von Schwärzungsflächen photographischer Schichten in geometrischer Darstellung durch Arens und Eggert.

Über die räumliche Darstellung des Zusammenhanges der photographischen Schwärzung mit der Belichtung schrieben Hans Arens und John Eggert in der Zeitschr. f. physikal. Chemie 1927, Bd. 131, S. 297. Sie gehen von der bekannten Tatsache aus, daß eine durch Zeit variation erhaltene Schwärzungskurve eine etwas andere Gestalt besitzt als eine durch Intensitäts variation gewonnene. Sie kommen zu dem Schlusse, daß man, streng genommen, zur Charakterisierung einer photographischen Platte nicht mit der einfachen kurvenmäßigen Darstellung der Schwärzungswerte auskomme. Da die maßgebende Größe der Schwärzung sowohl von der Belichtungsintensität als auch von der Belichtungszeit — also von zwei Variablen — abhängt, gelangt man daher für die abhängige Schwärzungs-Variable s zu einer räumlichen Darstellung, bei der die Größe s durch eine Fläche wiedergegeben wird.

Hans Arens und John Eggert führen aus, daß das photographische Schwärzungsgesetz in seinen Beziehungen zwischen Intensität und Zeit durch die komplizierten Gesetze von Schwarzschild, E. Kron, E. A. Jones, E. Huse und V. C. Hall usw. allgemein nicht zu erschöpfen ist, weil nach der Meinung der Verfasser keine Funktion existieren dürfte, die für die Schwärzungsfläche ein befriedigende analytische Darstellung liefert. Sie hielten es daher für angebracht, im gewissen Gegensatz zu diesen Betrachtungen für die Zwecke der Sensitometrie nicht analytische Formulierungen aufzustellen, dafür aber eine geometrisch anschauliche Darstellungsform anzugeben, die sich einer Schwärzungsfläche und deren Grund-, Auf- und Seitenrißebenen bedient, welche allen praktischen Anforderungen entgegenkommen soll. Ihre Darstellung umfaßt Belichtungsintervalle von 10^{-3} bis 10^{3} Sekunden, wobei die Größe des Schwarzschildschen Exponenten p zwischen 0,75 und 1,6 variiert wurde. Arens und Eggert geben folgende Zusammenfassung:

1. Im Anschluß an die bekannte Tatsache, daß die Gestalt der Schwärzungskurve einer photographischen Schicht sowohl von der Lichtintensität J als auch von der Belichtungszeit t abhängig ist, wird unter Zusammenfassung der bisher gebräuchlichen sensitometrischen Systeme eine räumliche Darstellung der Schwärzung von den beiden Variablen log i und log t erörtert.
2. Die Form der so entstehenden Schwärzungsfläche wird für einige einfache Annahmen über den Zusammenhang der beiden Variablen log J, log t unter besonderer Berücksichtigung des sogenannten Schwarzschildschen Exponenten p besprochen.
3. Als praktisches Beispiel wird die Schwärzungsfläche der Agfa-Extra-Rapidplatte für ein J-JIntervall von 7 und t-Intervall von 9 Zehnerpotenzen experimentell ermittelt.

H. Arens und J. Eggert besprechen die „Schwärzungsflächen“ (d. h. räumliche Darstellung der Schwärzung in Abhängigkeit von den Koordinaten log i und log t) für Agfaplatten und betreffs der Wirkung von Desensibilisatoren (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928. Bd. 26. S. 111).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VI. Die Gesetze der intermittierenden Belichtung photographischer Platten.

Die Wirkung intermittierender Belichtung auf Bromsilber-Gelatine mit Entwicklung nimmt man gewöhnlich etwas geringer an als die Wirkung derselben Lichtmenge bei kontinuierlicher Beleuchtung. Diese Tatsache beobachtete Abney, dann R. Englisch, und wurde dann von K. Schwarzschild[1]), Odencrants[2]), L. A. Jones[3]), R. Davis[4]), E. A. Baker[5]), Kellner[6]) u. a. genau studiert. Es ist sehr schwierig, durch Formulierung der verschiedenen Einflüsse ein Gesetz für den photographischen Effekt intermittierend aufzustellen, um so mehr, als die Resultate von der Größe der Lichtintensität beeinflußt werden.

Nach Schwarzschilds[7]) eingehenden Untersuchungen hängt die Wirkung des Intermittierens bei der Belichtung von Bromsilberplatten zunächst von zwei Größen ab:

1. Von dem Verhältnisse der Pause zur Dauer der Einzelbelichtung, je länger im Verhältnisse die Pause, um so stärker die Abschwächung;

2. von der Lichtmenge, welche die Einzelbelichtung auf die Platte sendet. Ein bestimmtes Verhältnis der Pause zur Dauer der Einzelbelichtung schwächt um so mehr, je weiter die Lichtmenge unter dem Schwellenwerte liegt. Von geringem Einfluß ist hingegen der Grad der Schwärzung und die absolute Größe der Belichtungszeit oder der Lichtintensität für sich genommen.

K. Schwarzschild (Phot. Korresp. 1899, S. 171) variierte die intermittierende Belichtung von Bromsilber-Gelatineplatten durch Änderung:

1. des Verhältnisses der Pausenlänge zur Dauer der Einzelbelichtung q;

2. der Dauer von Einzelbelichtung und darauffolgender Pause zusammengenommen t;

3. der wirksamen Lichtintensität J;

4. der Gesamtversuchsdauer von der ersten bis zur letzten Belichtung T.

---

1) K. Schwarzschild, Phot. Korresp. 1899, S. 111. — Ausführliches Referat in Eders Handbuch, III, 5. Aufl., 1903, S. 229.

2) Odencrants, Z. f. wiss. Phot., Bd. 16, S. 200 (mit genauer Literaturzusammenstellung).

3) L. A. Jones, Transact. Faraday Soc. 1923, Bd. 19, S. 367; Science et Ind. Phot. 1924, S. 49.

4) R. Davis, Scient. Pap. Bur. of Stand. Nr. 528; Science. et. Ind. Phot. 1926, S. 179.

5) E. A. Baker, 1926; Science et. Ind. Phot. 1927, S. 42.

6) Kellner, Z. f. wiss. Phot. 1926, Bd. 24, S. 41.

7) F. Formstecher, Phot. Ind. 1927, S. 575.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Mit diesen vier Größen, die aus Gründen der Darstellung gerade so gewählt wurden, sind auch die anderen gegeben, die eventuell interessieren könnten, z. B. die Dauer der Einzelbelichtung:

$$t_1 = \frac{t}{1+q},$$

die Dauer der Pause:

$$t_2 = \frac{t \cdot q}{1+q},$$

die Summe der Belichtungszeit:

$$T_1 = \frac{T}{1+q},$$

die Zahl der Unterbrechungen:

$$u = \frac{T}{t}.$$

Die Wirkung des Intermittierens wird aber nicht von den vier genannten Größen, sondern nur von dem sub. 1. genannten Verhältnisse und von der Lichtmenge, welche die Einzelbelichtung auf die Platte sendet, abhängen.

Schwarzschild stellte ferner fest, daß bei einem bestimmten Verhältnisse von

$$q = \frac{\text{Belichtung}}{\text{Pause}}$$

die Gesamtversuchsdauer von wenig Einfluß ist. Wenn q sich 1 nähert, ist nur wenig Schwächung zu bemerken. Für einen Sektor von 15 Grad (d. i. $q = 23$) erhält man eine bedeutende Schwächung, die um so größer wird, je kürzer die Zeit für eine Belichtungs-Pause und je kleiner die wirkende Lichtintensität ist. Ist die Energiemenge dem Schwellenwert nahe, so tritt nur geringe Schwächung ein.

Die Sensitometer mit intermittierender Belichtung (Scheiner-Sensitometer) geben bei kurzen Belichtungen, die durch sehr lange Dunkelpausen unterbrochen werden, etwas geringere Empfindlichkeitsanzeigen (Schwellenwert) als bei Anwendung einer kontinuierlichen Zeitskala. Diese Erscheinung wurde auch von Eder bei der Reduktion der Scheinergrade auf Eder-Hechtgrade berücksichtigt. Die intermittierenden Sensitometer stehen in ihren Angaben zwischen Zeit- und Intensitätsskala, was für praktische Zwecke vielleicht ein Vorteil ist. Zu Zwecken der wissenschaftlichen Photometrie stehen die Sensitometer mit intermittierender Skala im allgemeinen hinter den Sensitometern der 1. und 3. Klasse (Seite 383) zurück. Für die technische Plattenprüfung aber, sowie für die Bedürfnisse der Fabrikanten und Konsumenten photographischer Platten lassen sich insbesondere die Sensitometer der 1. und 2. Klasse in eine handliche, geeignete Form bringen und man muß sich vor Augen halten, daß für die angewandte Photographie (dank dem großen Spielraum in der Belichtung und Entwicklung) Differenzen in den Angaben der Plattenempfindlichkeit bis zum Betrage von etwa 30% zulässig sind, ja L. P. Clerc vertritt die Ansicht, daß die Angabe der Plattenempfindlichkeit mit 50% Genauigkeit für Händler und Fabrikanten genügt (Paris, Phot. Kongreß 1925. — Phot. Ind. 1925, S. 957).

Die Belichtung mit intermittierenden Zeitskalen, wie sie mit rotierender Sektorscheiben nach Art des Scheiner-Sensito-

meters vorgenommen (s. d.) wird, ändert die Gradation gegenüber der nicht intermittierenden Beleuchtung mit derselben Lichtmenge (demselben $I \cdot t$) und zwar gibt die nicht intermittierende Belichtung bei der Sensitometrie mit Sektorenscheiben einen etwas größeren Empfindlichkeitswert, sowohl bei Ablesung des Schwellenwertes als auch bei der Ermittlung der Inertia nach Hurter und Driffield.

Loyd A. Jones stellte dies in seiner Abhandlung „Über nicht-intermittierende Sensitometer“ (aus Eastman Kodak Scient. Abridg. Public. 1922. Nr. 69) graphisch dar.

Abb. 69 zeigt (nach Jones) das allgemeine Verhältnis zwischen der charakteristischen Kurve mit nicht intermittierender Zeitskala (A in Abb. 69) und der intermittierenden, wie sie mit einer rotierenden Sektorscheibe (nach Art des Scheiner-Sensitometers) erhalten wird.

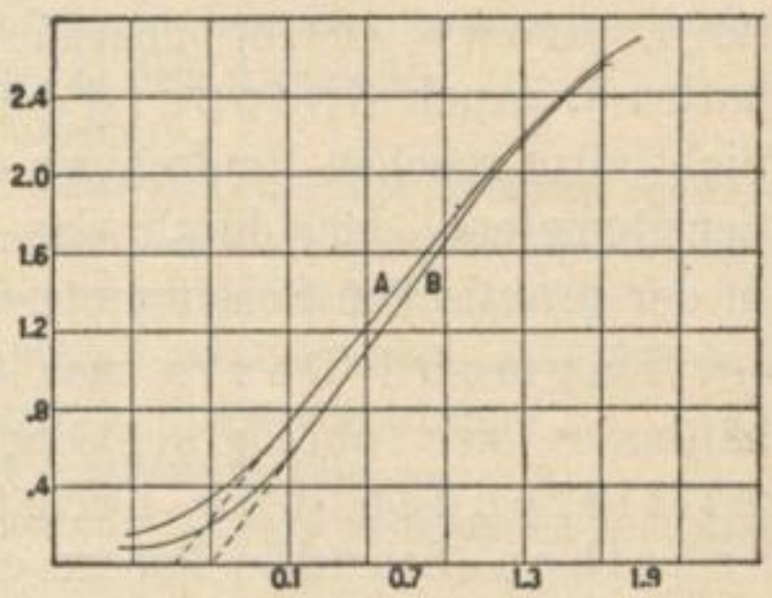


Abb. 69. Verschiedenheit der intermittierenden (B) und der nicht intermittierenden Exposition (A).

In den starken Belichtungen nähern sich die beiden Kurven und können sogar zusammenfallen, aber bei kleinen Expositionen sinken die Schwärzung und die angezeigte Empfindlichkeit, ebenso ändert sich die Inertia im selben Sinne; dies tritt um so stärker auf, je kleiner die Winkelausschnitte der Sektorenscheibe werden.

Dies entspricht den Gesetzen des Einflusses des Intermittierens, die insbesondere von Schwarzschild aufgestellt worden waren; auch Schwarzschild hatte gefunden, daß die hohen Nummern des Scheiner-Sensitometers etwas zu niedrige Empfindlichkeitswerte anzeigen (s. Seite 205).

Eine schwache Lichtintensität wird vom Bromsilberkorn mehr an der Oberfläche absorbiert werden, ohne weiter in die Tiefe zu dringen. Die Bestrahlungskeime werden sich nach Lüppo-Cramer bei gleichem $J \cdot t$ mit intensiverer Belichtung zunächst weniger ausschließlich an der Kornoberfläche befinden, sondern sich mehr nach der Tiefendimension verteilen. Damit wird ihre Wirkung bei der Entwicklung des Bildes im allgemeinen größer, denn bei gleichen Silbermengen ist diejenige wirksamer, die einen höheren Dispersitätsgrad besitzt.

L. A. Jones untersuchte verschiedene Plattensorten, sowohl bei intermittierenden als nicht intermittierenden Sensitometern, so daß in beiden Fällen dieselbe Lichtmenge ($J \cdot t$) zur Wirkung kam, und bestimmte die Empfindlichkeit nach Hurter und Driffield (reziprok der „Inertia“). Setzt man die mit dem intermittierenden Sensitometer gefundene Empfindlichkeit = 100, so zeigte sich mit dem nicht

intermittierenden Sensitometer bei mittelempfindlichen und rapiden Bromsilberplatten die Empfindlichkeit von 100 bis 107, bei einer Sorte extrarapider Platten und einer rapiden panchromatischen Platte aber war der Befund ungefähr 170 (Labor. Eastman Kodak; Science et Ind. Phot. 1924, S. 49). (Die Unterschiede der Empfindlichkeitsbestimmung mit dem Schwellenwert sind geringer, als wenn man die „Inertia“ als Maß benutzt. E.).

Diese Abweichung der Wirkungsweise der intermittierenden von der kontinuierlichen Belichtung ist vom Gesichtspunkte der praktischen Photographie meist so gering, daß die Gebrüder Lumière (1889), L. Weber (1894), Simon (1896), Scheiner 1894), A. E. Howe (1916) überhaupt keine Abweichungen beobachtet hatten[1]). Auch Sheppard und Mees fanden, daß man bei einer nicht allzu raschen Umdrehung der rotierenden Scheibe des Scheiner-Sensitometers den durch das Intermittieren verursachten Fehler in der praktischen Sensitometrie vernachlässigen könne.

Raymond Davis machte experimentelle Studien des Verhältnisses der photographischen Exposition zwischen intermittierenden und nichtintermittierenden Sektorscheiben (Scientific Papers of the Bureau of Standards, Nr. 528, 1926.) Er fand, daß die Differenz mit der benutzten Emulsion, der Beleuchtung, der Zahl der Unterbrechungen und den Dunkelperioden variiert. — Wenn die Beleuchtung über eine gewisse Größe steigt, resultiert ein größerer Effekt der intermittierenden Beleuchtung und umgekehrt, tritt bei geringerer Intensität eine Verminderung der Wirkung beim Intermittieren ein. — Nach dem Erlöschen der Belichtung unterliegt das latente Lichtbild zwei entgegengesetzten Einflüssen; die eine hat die Tendenz das Lichtbild zu verstärken, die andere es abzuschwächen; beide nehmen stark mit der Zeit ab. — Bei hohen Lichtintensitäten ist der Schlußeffekt eine Zunahme der Dichte des Bildes; bei schwachen Intensitäten tritt das Gegenteil ein. — Bei intermittierender Belichtung fügt jede Teilbelichtung einen Teil der Gesamtverstärkung oder Abschwächung des Lichtbildes hinzu. — Aber es ist abzuschätzen, daß, wenn die Dunkelperioden kurz sind, der Effekt der intermittierenden Belichtung sich vermindert.

R. Davis besprach die Relation zwischen intermittierenden und kontinuierlicher Beleuchtung bei verschiedener Lichtintensität mit Bezug auf die optimale Lichtintensität im Sinne der Kronschen Schwärzungsgesetze; der Unterschied war bald

---

1) Literatur-Zusammenstellung hiefür s. Arvid Odencrants (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1916, Bd. 16, Heft 4—6. — H. M. Kellner, ebenda 1926, Bd. 24, S. 41). — Über Abweichungen in den Empfindlichkeitsangaben des Scheiner-Sensitometers innerhalb großer Intervalle s. Eder, Handbuch, III. 1903, S. 232.

größer, bald kleiner, bald gleich Null, je nachdem die Exposition unter, ober oder gleich der optimalen Lichtintensität war (Kodak Abst. Bull. 1926, S. 631).

H. Kellner studierte die Wirkung der intermittierenden Belichtung im Zusammenhange mit seinem Schwärzungsgesetz (s. S. 200) und kam zu dem Schlusse, daß der Verwendung rotierender Scheiben kein prinzipielles Bedenken entgegensteht. Man hat nur Sorge zu tragen, daß die Tourenzahl des Sektors, der Öffnungswinkel und die Variabilität des Schwarzschildschen Exponenten p entsprechend berücksichtigt wird. Kellner gibt sehr komplizierte Formeln zur Ermittlung dieser Beziehungen an, welche er aus seinem Schwärzungsgesetz ableitet, aber für die technische Plattenprüfung kaum in Betracht kommen (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1926, Bd. 24, S. 41).

Diese Aufstellung eines Intermittenzgesetzes durch Kellner besprach F. Formstecher (Phot. Ind. 1927, S. 575) und versuchte, es in etwas besser fundierter Form wiederzugeben. Er versuchte, in dem Ausdruck

$$D = f(\sigma) \quad (D = \text{Dichte})$$

die Größe σ, die man nach Schwarzschild als das Glied der „latenten Schwärzung" bezeichnen kann, ihrerseits als Funktion von Beleuchtungsstärke, Belichtungszeit und der Art, wie diese Belichtung zugeführt wird, darzustellen.

Formstecher geht, ebenso wie Kellner, von der Annahme aus, daß man unter Anlehnung an Schwarzschild für jede Einzelbelichtung τ

$$\sigma' = J\,\tau^p \quad (J = \text{Beleuchtungsstärke})$$

setzen darf, wo σ' die durch diese Einzelbelichtung bedingte Schwärzung eindeutig bestimmt.

Nimmt man weiter für die Totalbelichtung an

$$\sigma = \Sigma(\sigma'),$$

so wird

$$D = f(\Sigma(J\,\tau^p)).$$

Das Glied $\Sigma(J\,\tau^p)$ läßt sich aber explizite ausrechnen. Bedeutet nämlich a den Winkel des benutzten Ausschnitts des Sektorenrades in Gradmaß, bedeutet ferner

t die Gesamtbelichtungszeit,
T die gesamte Versuchsdauer (inkl. der Dunkelpausen),
n die Tourenzahl pro Zeiteinheit, also
nT die gesamte während des Versuchs angewandte Drehungszahl,

so muß sein $\frac{t}{T} = \frac{a}{360}$ und $\tau = \frac{a}{360} \cdot \frac{l}{n}$,

also $\tau = \frac{t}{nT}$.

Nun ist $\Sigma(J\,\tau^p) = J \cdot \Sigma(\tau^p) = J \cdot \Sigma\left(\frac{t}{nT}\right)^p$.

Es ist ferner $\Sigma(\tau^p) = nT \cdot \tau^p$,

also $\Sigma(J\,\tau^p) = J \cdot nT \cdot \left(\frac{t}{nT}\right)^p = J\,t^p \cdot (nT)^{1-p}$.

Daß diese Formel den Zusammenhang der Schwärzung mit der Tourenzahl mathematisch wiedergibt, geht daraus hervor, daß man für $nT = l$, also für den Spezialfall der kontinuierlichen Zeitskala wieder auf

$$\sigma = J\,t^p,$$

das Ausgangsglied der Betrachtung, zurückkommt — was bei Kellners Abteilung (l. c. S. 53 unten) nicht der Fall ist, wo die vollkommen unmotivierte Größe t' zu diesem Zweck eingeführt werden muß. Daß jedoch auch diese Korrektur der Kell-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

nerschen Formel nicht genügt, um das von ihm aufgestellte Intermittenzgesetz in Übereinstimmung mit dem vorliegenden Beobachtungsmaterial zu bringen, geht schon daraus hervor, daß die angeführte Formel nur das Produkt nT als Variable enthält, nicht die einzelnen Faktoren. Es steht aber experimentell fest, daß der Schwärzungseffekt auch bei konstanter Gesamtdrehungszahl nT mit der Gesamtversuchsdauer T variiert. Denn von dem Verhältnis zwischen der Gesamtversuchsdauer T und der Gesamtbelichtungszeit t hängt die äußerst wichtige Größe $\frac{\text{Pause}}{\text{Belichtung}}$ ab. Es ist nämlich

$$\frac{\text{Pause}}{\text{Belichtung}} = \frac{360 - \alpha}{\alpha} = \frac{T}{t} - l.$$

Bezeichnet man nun die Dunkelpause mit o, so ist

$$\tau + v = \frac{l}{n}, \text{ also } v = \frac{l}{n} - \tau = \frac{l}{n} - \frac{t}{nT}.$$

Nun können wir annehmen, daß die Dunkelpause die latente Schwärzung in analogem Sinne beeinflußt, wie die Teilbelichtung. Wir können also setzen:

$$\sigma' = J\,\tau^p + J\,v^p$$

$$\text{und } \sigma = \Sigma(J\,\tau^p + J\,v^p) = J\,(\Sigma\,\tau^p + \Sigma\,v^p).$$

Nun ist $\Sigma\,v^p = n\,T \cdot v^p$,

$$\text{also } \Sigma\,v^p = n\,T\left(\frac{1}{n} - \frac{t}{n\,T}\right)^p = T \cdot n^{1-p}\left(I - \frac{t}{T}\right)^p$$

$$\text{und mithin } \sigma = J\,t^p\,(n\,T)^{1-p} + J \cdot T \cdot n^{1-p}\left(1 - \frac{T}{t}\right)^p$$

$$\text{oder } \sigma = J\,t^p\,(n\,T)^{1-p} + J\,(n\,T)^{1-p}\,(T - t)^p.$$

Auf diese Weise läßt sich also die Schwärzung wenigstens formell als Funktion von vier unabhängig Variablen, nämlich der Beleuchtungsstärke J, der Belichtungszeit t, der Gesamtversuchsdauer T und der Tourenzahl pro Zeiteinheiten darstellen. während p einen Emulsionsparameter bezeichnet.

Hier weist auch Formstecher nebenbei auf die unzweckmäßige Formulierung des allgemeinen Schwärzungsgesetzes bei Kellner hin. Kellner stellt nämlich Seite 47 (l. c.) die unbenannte Größe p als Funktion der benannten Größe $(J\,t)$ dar, deren numerischer Wert ganz von der Wahl der Einheiten für J und t abhängt. Er kommt daher zur unmöglichen Schlußfolgerung, daß p ein Minimum erreicht für $\log J\,t = +\,a$, ein Maximum für $\log J\,t = 0$!

In einem allgemeinen Schwärzungsgesetz darf natürlich nur eine unbenannte Größe zur Charakterisierung der Exposition eingeführt werden. Gewöhnlich verwendet man das Verhältnis der angewandten Exposition zur optimalen Exposition (im Sinne von Kron). Unter diesem Gesichtspunkt müßte nach Formstecher die Formel für p und des weiteren auch die Kellnersche Formel für die Schwärzung umgestaltet werden.

Clarence E. Weinland zeigte (Journ. Optic. Soc. Amer. 1927. Bd. 15. S. 337 und 1928. Bd. 16. S. 295), daß für den Intermittenzeffekt von den beiden Variablen Belichtungsdauer und Unterbrechungsdauer die letztere maßgebend ist. Werner Leszynski nimmt zur Erklärung das Entstehen eines metastabilen Zustandes des latenten Bromsilberbildes an (Phot. Ind. 1928, S. 574).

Clarence E. Weinland untersuchte den Intermittenz-Effekt in der photographischen Exposition mit monochromen Licht von verschiedener Wellenlänge von 2537 bis 4358 A. E. Es wurde das Licht einer Quecksilber-Quarzlampe durch Drahtnetze um bestimmte bekannte Beträge seiner Intensität abgeschwächt; der hindurchgehende Strahlenbündel fiel auf einem rotierenden Sektor und wurde auf den Spalt eines Quarz-Spektrographen geworfen. — Die „Eastman Speedway-Platten" zeigten einen sehr kleinen Intermittenz-Fehler unabhängig von der Wellenlänge; Wratten „Panchromatische" und „Cramer Contrast Prozeß-Platten" zeigten einen sehr bemerkenswerten Intermittenz-Effekt, welcher mit zunehmender Wellenlänge wuchs. — Der Intermittenzfehler bewegte sich in derselben Richtung wie die Abweichung vom Reziprozitätsgesetz. Es besteht ein inniger Zusammenhang zwischen den Intermittenz-Fehlern und den Abweichungen vom Intermittenz-Gesetz. — Für eine mäßige Größe der Frequenz der Lichtstöße wurde der Intermittenz-Effekt anwachsend mit dem Verhältnis der Ruhepause mit den Lichtstößen gefunden, aber beinahe unabhängig von der Frequenz der Belichtung; bei sehr langsamer Frequenz der Belichtung war der Effekt abhängig von der Frequenz und nicht weiter von dem Verhältnis. — Wenn die Platte vorbelichtet worden war, so wurde der Intermittenz-Fehler vermindert und wenn diese Vorbelichtung das latente Lichtbild von dem Fuß der Schwärzungskurve auf die gerade Linie der charakteristischen Kurve brachte, so wurde der Intermittenz-Effekt fast ganz aufgehoben. — Der Zusammenhang des Intermittenz-Effektes mit der Zone der Unterexposition wurde ferner durch die Tatsache angezeigt, daß die Differenz zwischen kontinuierlicher und intermittierender Schwärzungskurve vom Fuß der Kurve bis zur geraden Linie der normalen Belichtung ansteigt und dann konstant bleibt. (Journ. Optic. Soc. of Americ. 1927, Bd. 15, S. 337; Kinotechnik 1928, S. 221.)

Die Differenz zwischen intermittierender und kontinuierlicher Exposition schwankt mit der benützten Emulsion, der Beleuchtung, Zahl der Unterbrechungen in den Dunkelpausen zwischen ihnen. Im allgemeinen nimmt man an, daß bei intermittierender Belichtung der photographische Effekt auf Bromsilber-Gelatine kleiner wird, als bei gleich lang währender kontinuierlicher Belichtung; die sich ergebenden Gesetzmäßigkeiten wurden im Vorhergehenden angegeben. Neuere Untersuchungen von Raymond Davis, Scientific Papers of the Bureau of Standards, No. 528, Washington 1926, S. 95—139; Zeitschrift f. wiss. Phot. 1927, Bd. 25, S. 61; — Phot. Abstracts, Royal Phot. Soc. of Great Britain 1926, Nr. 1250 zeigten, daß die von Schwarzschild und anderen Beobachtern geäußerte Ansicht von der allgemeinen Gültigkeit dieser Regel nicht zutrifft. — Es wurde gefunden, daß nur bei geringen wirkenden Lichtintensitäten die Schwarzschildschen Regeln gelten, während bei größeren Lichtintensitäten ein größerer photographischer Effekt der intermittierenden Belichtung gegenüber einem kleineren Effekt der kontinuierlichen nachgewiesen werden kann. — Dieser Gewinn oder Verlust an photographischem Effekt wird bei Vergrößerung der Intermittenz bedeutender. Es kann je nach der Intensität des wirkenden Lichtes sowohl ein geringerer als auch ein größerer Effekt der intermittierenden Belichtung gegenüber der kontinuierlichen eintreten und unter Umständen können auch beide Wirkungen gleich werden. — Die meisten von ihm untersuchten Emulsionstypen zeigten bei großer Lichtintensität in den Stellen der großen Schwärzungen der Negative ein Überwiegen des Effektes der Intermittierung. In der Nähe des Schwellenwertes aber ist der photographische Effekt der Intermittierung stets geringer. Die Variierung von den schwächsten zu den höchsten Intensitäten läßt annehmen, daß bei

Lichtintensitäten über 4 Sek.-Meter-Kerzen die Steigerung des Effektes der Intermittierung gegenüber der geringeren Wirkung der kontinuierlichen Beleuchtung eintritt. — Gewisse Sorten von wenig empfindlichen, hart arbeitenden Bromsilber-Gelatine-Platten, z. B. die Kodak Seed-Prozeß-Platte, zeigen diese Abweichung von den Schwarzschild schen Regeln nicht und ergaben im allgemeinen eine geringere Wirkung der intermittierenden Beleuchtung.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß die bisher allgemein als gültig angesehene Annahme: daß bei dem intermittierenden Scheiner-Sensitometer die schwachen Felder etwas geringere Lichtmengen anzeigen, als die mittleren oder dichtesten Sensitometer-Felder, auch fernerhin ihre Gültigkeit behält.

Das Schwärzungsgesetz für das Licht elektrischer Funkenentladungen studierten M. Hanot und H. Guillemet (Comp. rend, 1928, Bd. 186, S. 1048). Für eine gegebene Intensität bei der Exposition mit nichtintermittierenden und intermittierenden Funkenentladungen ergab sich ein gleichbleibendes Gamma für den Wellenbezirk 415—537.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

DREIZEHNTES KAPITEL.

UNTERSUCHUNG DER FARBENEMPFINDLICHKEIT PHOTOGRAPHISCHER PLATTEN. — SPEKTRUM-PHOTOGRAPHIE — ABHÄNGIGKEIT DER EMPFINDLICHKEIT UND GRADATION VON DER WELLENLÄNGE DES LICHTES.

I. Wellenlängen der Fraunhoferschen Linien und der farbigen Zonen im Sonnen-Spektrum.

Für das Verständnis der chemischen Wirkungen des farbigen und des ultravioletten Lichtes ist die Kenntnis der Wellenlängen der betreffenden Spektralbezirke von Wichtigkeit. Folgende Tabelle betrifft die Fraunhoferschen Linien des Sonnenspektrums.

Ausgedrückt in Ångströmschen Einheiten nach dem Internationalen System (1 Å. E. = 1 zehntelmilliontel Millimeter oder $^1/_{10}$ $\mu\mu$. — 1 $\mu\mu$ = 1 Milliontel Millimeter.)

Farbe	Fraunhofersche Linie	Wellenlänge (Å. E.)	Entsprechendes Element	Schwingungszahl in Billionen	Farbe	Fraunhofersche Linie	Wellenlänge (Å. E.)	Entsprechendes Element	Schwingungszahl in Billionen
Infrarot	y	8990,4	—	334	Ultraviolett	K	3933,82	Ca	763
		8986,5	—	334		L	3820,44	Fe	785
	XIV	8806,1	—	341		M	3727,78	Fe	805
	XIII	8661,4	—	346			3727,63		
	XII	8541,8	—	351			3727,06		
	XI	8497,0	—	353		N	3581,35	Fe	838
	Z	8226,4	—	365		O	3441,16	Fe	872
	A	7594,06	O	395			3440,76		
Rot	a	7186	—	—		P	3361,33	Ti	893
	B	6870,25	O	437		Qu	3286,90	Fe	913
	B	6870,12	O			R	3179,45	Ca	943
Grenze des Orange	C	6563,05	H	457		S_1	3102,00	Ni	967
Gelb	D_1	5896,16	Na	509			3101,68		
	D_2	5890,19				S_2	3199,79	Fe	968
Grün	E	5270,56	Fe	569			3100,09		
		5269,72					3100,00		
	b_1	5183,79	Mg	579		s	3047,73	Fe	985
Zyanblau	F	4861,53	H	619		T	3021,17	Fe	993
Indigo	G	4308,08	Fe	696			3020,61		
Violett	h	4102,00	H	731		U	2948,90	Fe	1018
	H	3968,62	Ca	760			2948,25		

Eine zweite Tabelle gibt übersichtlich den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Farbe des Spektrums nach Listing.

Da mit Recht die Gepflogenheit in der neueren Literatur sich bemerklich macht, Sensibilisierungen, Absorptions-Kurven usw. auf die Wellenlänge des Lichtes zu beziehen, so erleichtert die kleine Tabelle die Übersicht.

Verteilung der Farben im Sonnenspektrum.

(Nach J. B. Listing.)

	Grenze	819,8 $\mu\mu$		Grenze	491,9 $\mu\mu$
Braun	Mitte	768,6	Zyanblau	Mitte	473,0
	Grenze	723,4		Grenze	455,5
Rot	Mitte	683,2	Indigo	Mitte	439,2
	Grenze	647,2		Grenze	424,0
Orange	Mitte	614,9	Violett	Mitte	409,9
	Grenze	585,6		Grenze	396,7
Gelb	Mitte	559,0	Lavendel	Mitte	384,3
	Grenze	534,7		Grenze	372,6
Grün	Mitte	512,4			

II. Spektrographie zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten und Lichtfilter.

Die Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten geschieht am besten im Spektrum, welches ein Farbenband von vollendeter Reinheit und Pracht der Farben liefert. Als Ersatz werden bei photographisch-technischen Prüfungen auch farbige Gelatine- oder Glas-Filter oder auch Flüssigkeitsfilter mit gutem Erfolge vielfach benützt (s. Kapitel XIV und XV); sie lassen fast immer mehrere und breitere Streifen farbiger Strahlen durch, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das zu prüfende Licht-Filter durch ein Spektroskop betrachtet[1]). Auch die Photographie spezieller Farbtafeln auf Papier (z. B. die Farbtafel der Agfa oder Höchster Farbwerke) im reflektierten Licht gibt im gewissen Grade Aufschluß über die Farbenempfindlichkeit des Photomaterials. Am exaktesten ist die Prüfung mit dem Spektrographen bei Verwendung geeigneter Lichtquellen wie von Sonnenlicht, oder künstlichen Lichtquellen, wie

1) Das Spektrum liefert auch wirklich monochromes Licht, über dessen Herstellungsart und Apparatik sehr viele Untersuchungen vorliegen. — Wir erwähnen hier Ch. Fabry „La Lumière monochromatique, sa production et son emploi en optique pratique“ 1923 (herausgegeben von der „Revue Optique“, Paris, 3—5 Boulevard Pasteur).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

z. B. der Nernstlampe oder von Metallfadenlampen, Azetylenlicht usw. Für das äußere Ultraviolett dienten als Standard die Quecksilber-Quarzlampe und verschiedene Arten des zwischen Metall-Elektroden überspringenden Funkens eines kräftigen Ruhmkorffschen Induktoriums mit Leidenerflaschen usw.; das von Eder empfohlene Funkenspektrum des Tantals zeichnet sich durch verhältnismäßig große Gleichmäßigkeit der enorm zahlreichen Linien, die sich über das ganze ultraviolette Spektrum erstrecken, aus.

Für phototechnische Untersuchungs-Laboratorien genügen einfache leicht zu handhabende Spektrographen, welche eine Ergänzung der sensitometrischen Prüfungsmethoden sind und welche beim weiteren exakten Aufbau zu sogenannten spektrometrischen Untersuchungsmethoden führen, die allerdings nur in gut eingerichteten photochemischen Laboratorien anwendbar sind.

Wir wollen zunächst die einfachsten Formen der Spektrographen für Zwecke der Prüfung von Farbenempfindlichkeit erwähnen, welche in irgendeiner Ausführungsform in keinem phototechnischen Untersuchungslaboratorium fehlen sollen, sie dienen auch zur spektrographischen Prüfung der Lichtdurchlässigkeit von Lichtfiltern usw.

Heliographische Darstellungen des Sonnenspektrums, der Farbenempfindlichkeit von photographischen Platten und der Funken- und Bogenspektren der meisten Elemente mit großen Glas-, Quarz- und Gitterspektrographen finden sich in dem großen Tafelwerk: Eder und Valenta, „Atlas typischer Spektren“, herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften in Wien, 3. Auflage 1928.

1. Einfache Spektrographen mit geradsichtigen Prismensätzen.

Die einfachsten Spektrographen erhält man, wenn man ein Spektroskop à vision directe (mit Amiciprismen), wie man sie zu Hand-Spektroskopen verwendet, mit einer photographischen Kamera kombiniert, was zuerst H. W. Vogel im Jahre 1873 bei seinen Untersuchungen über Farbensensibilisierung durchführte. Solche Apparate konstruieren zahlreiche Optiker.

Die schematische Darstellung in Abb. 70 (nach Steinheil), zeigt einen solchen kleinen Spektrographen mit fünffachem Prisma à vision directe. B ist der Spalt, C ist die Kollimatorlinse, in dem Prismensatz sind drei Kronglasprismen D und zwei Flintglasprismen vorhanden. E ist die Einstellschraube. Das Spektrum wird in der

Kamera G photographiert; an derselben befindet sich eine 5mal verschiebbare Kassette, so daß man fünf Spektrumaufnahmen untereinander machen kann; bei diesem Apparat kommt das sichtbare Spektrum in Betracht. Die Leistung (Schärfe der Spektrallinien) derartiger Spektrographen wird erhöht, wenn man hinter dem Prismen-System ein photographisches Objektiv anbringt. Moderne Handspektroskope mit Wellenlängenskalen werden in großer Vollkommenheit von Zeiß in Jena, von Schmidt und Haensch in Berlin, Steinheil in München u. a. hergestellt.

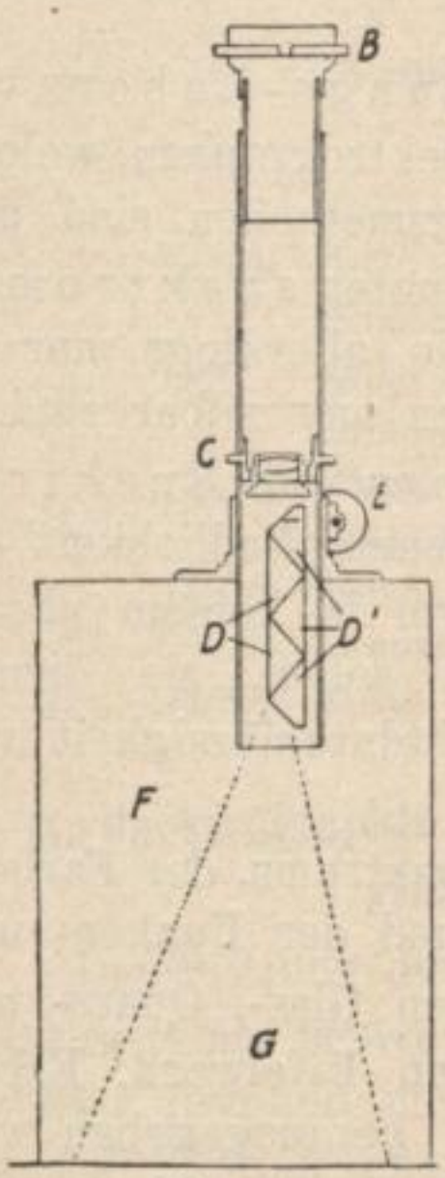


Abb. 70.
Kleiner Spektrograph mit geradsichtigem Prismensatz (Amiciprismen).

Abb. 71 zeigt den schematischen Schnitt in natürlicher Größe durch ein Zeißsches Handspektroskop mit Skala. Man benutzt es zu visuellen Beobachtungen der Absorptionsverhältnisse von Lichtfiltern usw.

Verbindet man ein auf Unendlich eingestelltes derartiges Handspektroskop mit geradsichtigen Prismensätzen mit einem ebenfalls auf Unendlich eingestellten photographischen Objektiv und mit einer Kamera, so erscheint in der Bildebene ein reelles Bild des Spektrums. Ebenso wird die Wellenlänge-Teilung in richtiger Vergrößerung auf der photographischen Platte mit abgebildet. Die Zeißwerke in Jena geben diesem kleinen, aber sehr leistungsfähigen Apparate die in Abb. 71 dargestellte Form, die in photochemischen Laboratorien viel verwendet wird.

Der Zeißsche kleine Spektrograph ist gut geeignet zum Studium der spektralen Farbenempfindlichkeit im sichtbaren Spektrum, der Wirkung von Sensibilisatoren, der Absorptionserscheinungen usw. — Abb. 73 zeigt die Absorptionsbanden eines Didymsalzes; sie stoßen an die Wellenlängenteilung an. Das untere Spektrum ohne Banden zeigt die gleichmäßige Empfindlichkeit einer panchromatischen Platte gegenüber dem Lichte einer elektrischen Metallfadenlampe.

Die optisch-mechanischen Werkstätten von Franz Schmidt & Haensch in Berlin S 42, verwenden zu diesem Zwecke eben-

falls ein Handspektroskop mit einem Zwischenstück, welches auf einer photographischen Kamera, die mit einem Goerz-Doppel-Anastigmat F = 240 mm versehen ist, befestigt wird. — Das Licht fällt direkt in das Spektroskop ein, während die Wellenlängen-Skala durch einen Spiegel mit reflektiertem Lichte erhellt wird.

Bei diesen Apparaten ist die Kassette in einem von oben nach unten mittels Hand verschiebbaren Schlitten aus Holz angeordnet,

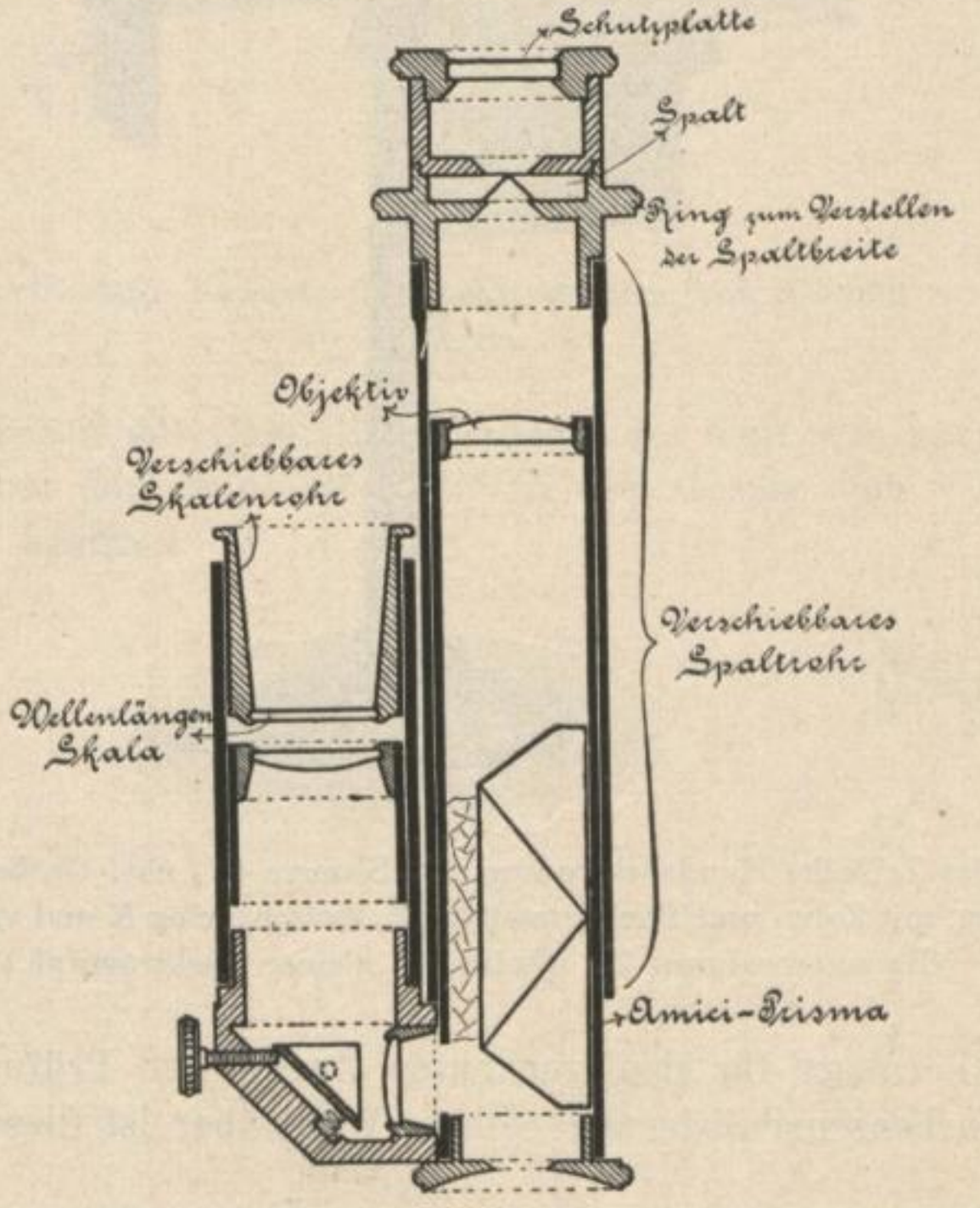


Abb. 71. Schematischer Schnitt in natürlicher Größe durch ein Zeißsches Handspektroskop mit Wellenlängenskala.

so daß mehrere Spektren auf der Platte aufgenommen werden können. An Stelle der Kassette kann eine zur Hälfte mattierte Glasscheibe eingesetzt werden. (Abb. 74.)

Diese kleinen Spektrographen entsprechen hinreichend den Bedürfnissen des Phototechnikers, sobald es sich um Studium der Wirkung des sichtbaren Spektrums auf photographische Platten handelt. Man beachte aber, daß die dicken Glaskörper und nament-

lich die in ihnen enthaltenen Flintglas-Prismen das Violett stark schwächen und das Ultraviolett nahezu gänzlich schlucken. Dies

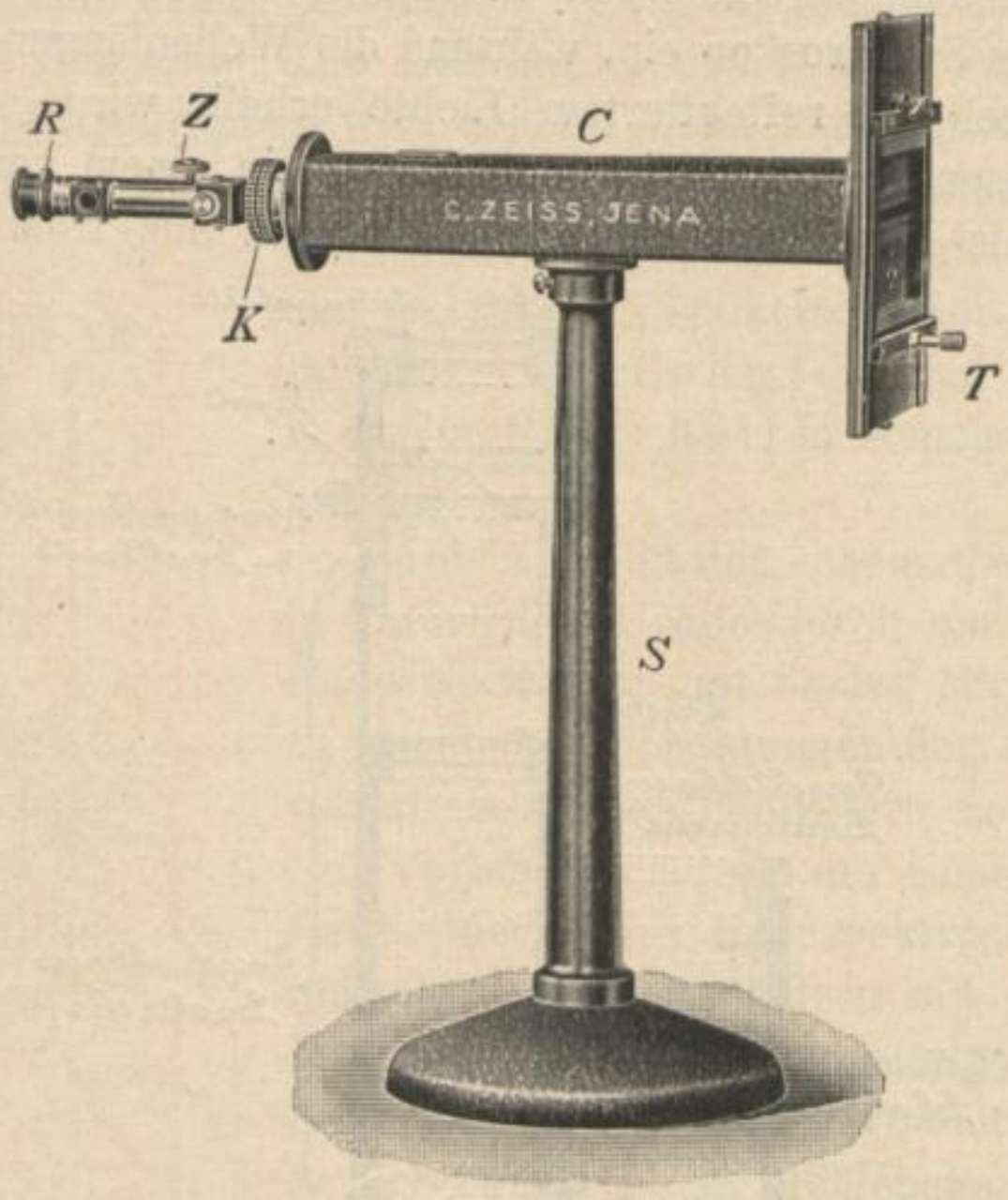


Abb. 72. Das Zeißsche Handspektroskop mit Kamera ($^1/_6$ nat. Größe) mit Wellenlängenteilung, mit Zahn- und Triebverstellung *Z*, Zwischenring *K* und verschiebbarem Kassettenrahmen *T*. (Zeißscher kleiner Spektrograph.)

schadet allerdings für den genannten Zweck der Prüfung der optischen Farbensensibilisierung nichts. Wohl aber ist dieser Umstand

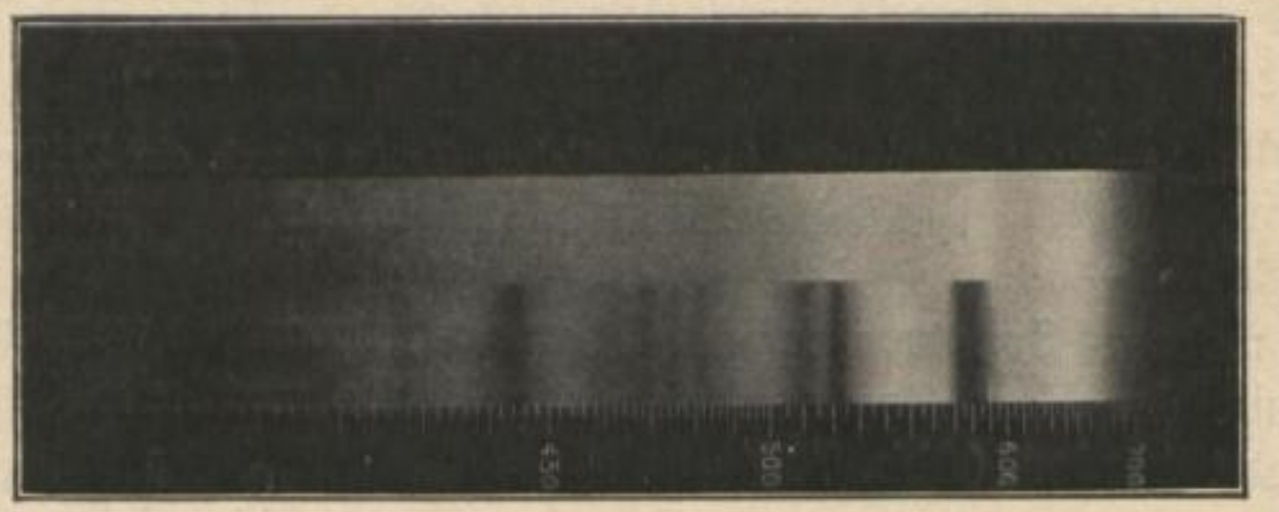


Abb. 73. Probeaufnahme mit dem Zeißschen kleinen Spektrographen.

sehr schädlich, wenn man Studien im Ende des Violett und in dem Beginn oder weiterem Verlauf des Ultravioletts machen will, was

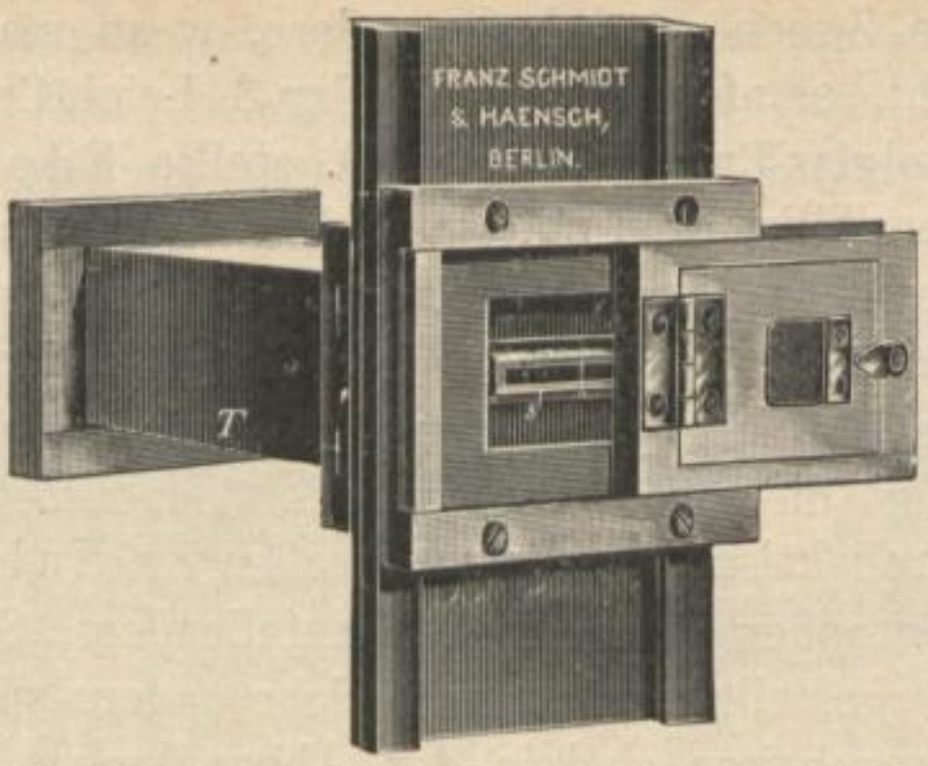


Abb. 74. Verschiebbare Kassette für Spektrographen von Schmidt u. Haensch in Berlin.

z. B. bei Proben mit Chlorsilber-Gelatine der Fall sein kann, welche das Maximum der Empfindlichkeit an der Grenze von Violett und Ultraviolett besitzen.

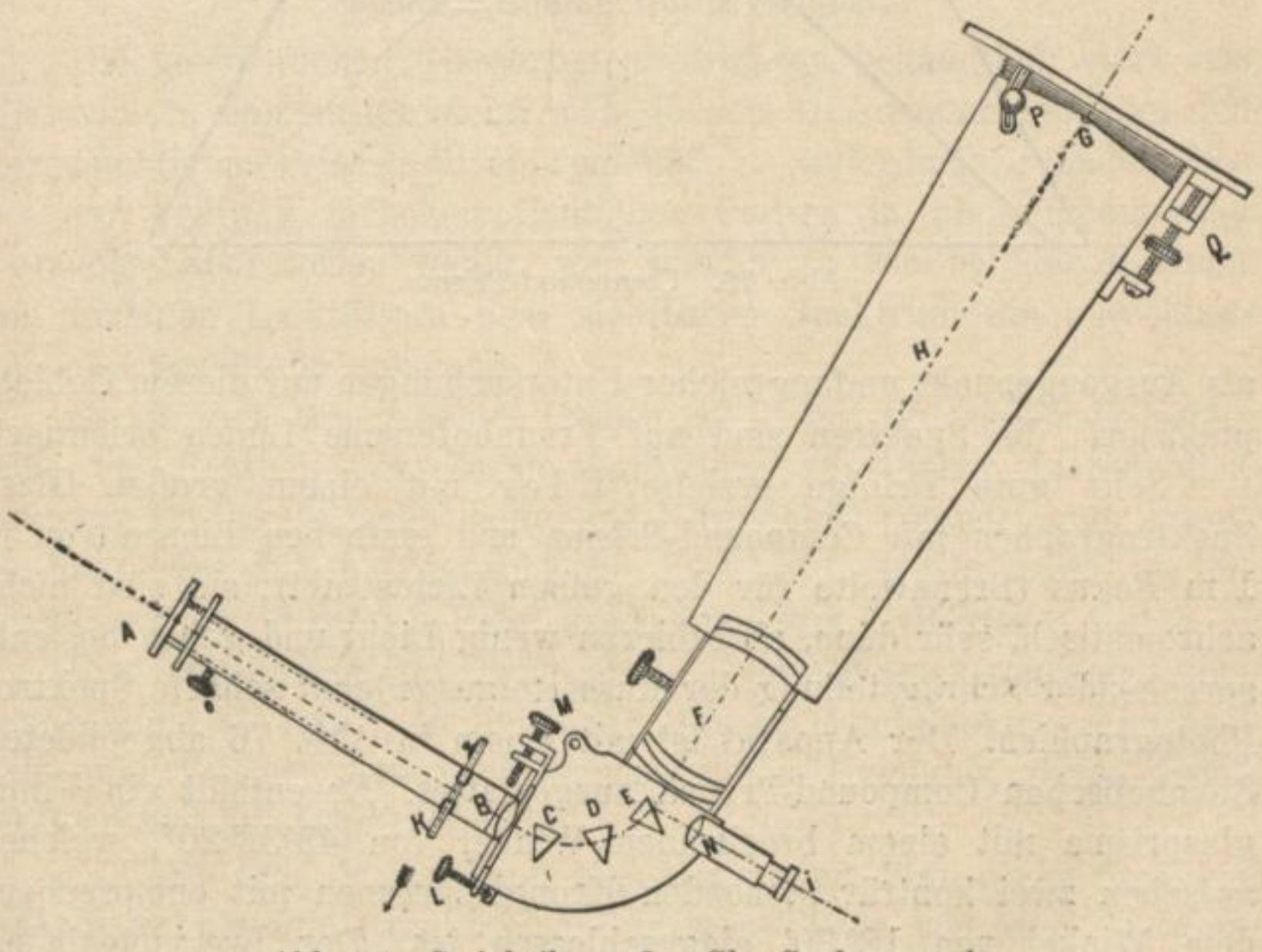


Abb. 75. Steinheils großer Glas-Spektrograph.

A ist der Spalt, *B* die Kollimatorlinse von 33 cm Fokus, *C D E* drei Leichtflintprismen von 50 Grad brechendem Winkel, *F* ein Aplanat von 60 cm Fokus und *G* die mittels der Schraube *Q* drehbar und mit *P* fixierbare Kassette. *N* ist ein Skalenrohr.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Für solche Zwecke und insbesondere, wenn man größere Dispersion wünscht, empfehlen sich 2 oder 3 Leichtflint- oder Kronglas- oder Uviolglas-Prismen. So z. B. stellte Eder seine Studien über Farben-Sensibilisatoren mit einem derartigen von Steinheil in München hergestellten Apparat mit drei Prismen aus leichtem Flintglas an, der in Abb. 75 skizziert ist. Er gibt ohne Schwierigkeit Spektrogramme bis zur Fraunhoferschen Linie N.

Tafel I zeigt die Photographien des Sonnenspektrums, die mit Hilfe dieser parallaktisch montierten großen Steinheilschen Dreiprismenspektrographen bei direkt einfallendem Sonnenlicht von J. M. Eder hergestellt wurden; zahlreiche andere spektrographische Untersuchungsergebnisse sind in den Abhandlungen Eders in den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien 1884,

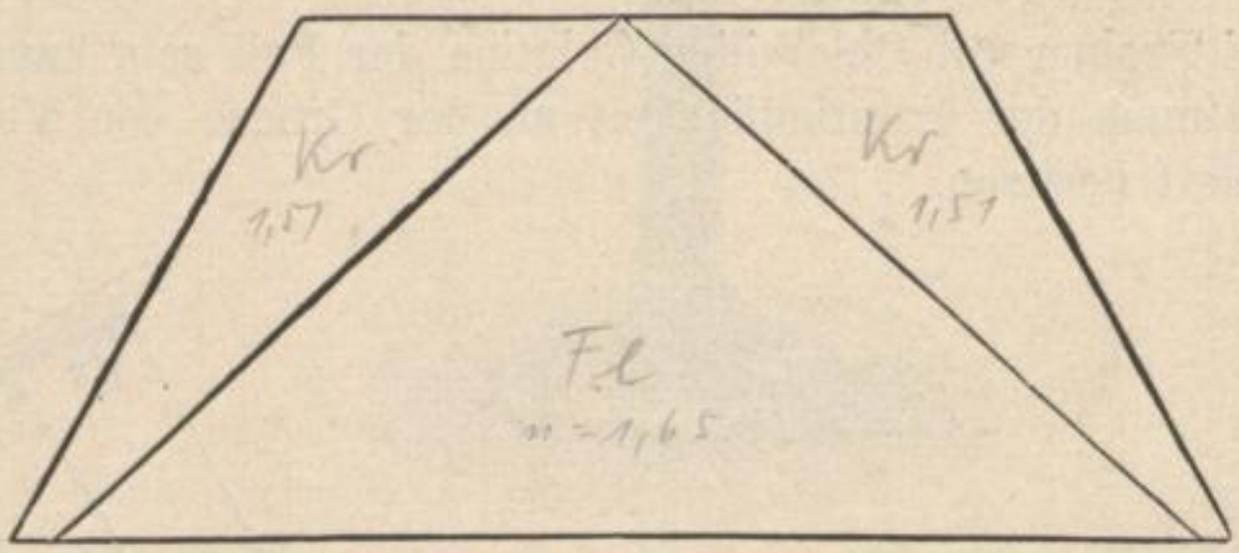


Abb. 76. Compound-Prisma.

als Ausgangspunkt umfangreicher Untersuchungen auf diesem Gebiete publiziert; die Spektren sind auf Fraunhofersche Linien orientiert.

Sehr gute Erfolge erzielte Eder mit einem großen Glas-Spektrographen mit Compound-Prisma und einfachen Linsen von je 1 m Fokus (Brennweite für den gelben Lichtstrahl); sie sind nicht achromatisch, sehr dünn, absorbieren wenig Licht und geben bei entsprechender Schrägstellung der Kassette ausgedehnt scharfe Spektro-Photographien. Der Apparat ist mit einem in Abb. 76 abgebildeten Steinheilschen Compound-Prisma ausgestattet. Er enthält ein Flintglasprisma mit einem brechenden Winkel von 49°32' 20", welches zwischen zwei konträr stehenden Kronglasprismen mit entsprechendem Winkel von 18° 30' eingeschlossen ist. Der Brechungsindex des Flintglases ist für die gelbe Linie D gleich 1,6508, der des Kronglases gleich 1,5116. Eine sehr große Anzahl von Bogen- und Funken-Spektren, die mit diesem Apparat hergestellt wurden, sind in Eder und Valentas „Atlas typischer Spektren 1928" ab-

gebildet. Eine Anzahl von Sonnenspektren auf farbenempfindlichen Platten sind in dem vorliegenden Werke in Tafel II beigegeben. Die äußere Anordnung dieses großen Glas-Spektrographen zeigt Abb. 77.

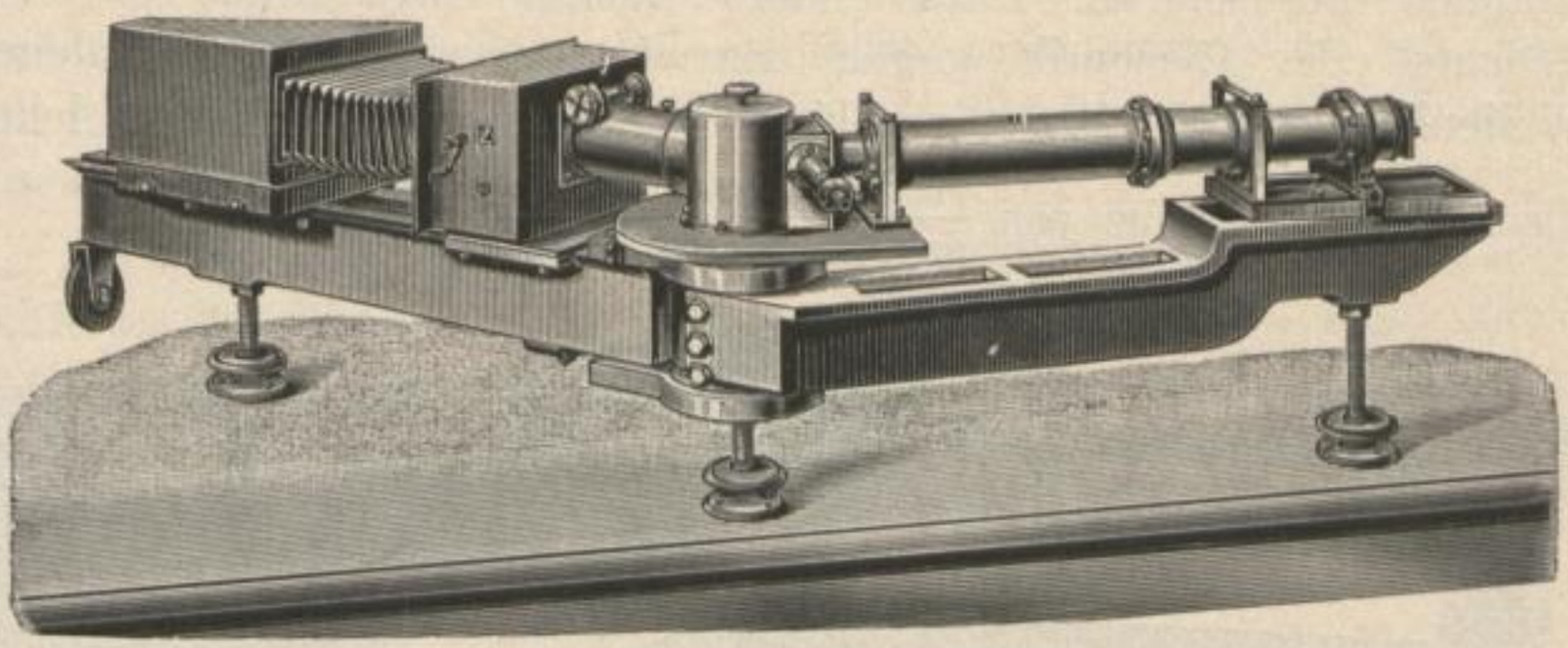


Abb. 77. Eders großer Glasspektrograph mit Compound-Prisma.

Spektrographen mit Uviolglas.

Die gewöhnlichen Glassorten absorbieren bekanntlich stark das Ultraviolett, namentlich wenn man dickere Glasmassen (wie bei den geradsichtigen Prismensätzen) benützt; — allerdings schadet dies bei der Prüfung farbenempfindlicher Platten in photo-technischen Versuchs-Laboratorien wenig, weil hierfür so wie bei der Prüfung von farbigen Lichtfiltern dem sichtbaren Spektrum die ausschlaggebende Bedeutung zukommt.

Es ist aber bei manchen Proben, z. B. mit Chlorsilber-Gelatine, oder bei Prüfung der Zusammensetzung künstlicher Lichtquellen mitunter erwünscht, auch weiter ins Ultraviolett vorzudringen, soweit es überhaupt für photographische Zwecke (mit Glasoptik) in Betracht kommt; in diesem Falle greift man zum Uviolglas.

Eine leistungsfähige Type eines Uviol-Glasspektrographen erzeugt Adam Hilger, in London[1]). Dieser Uviol-Spektrograph enthält zwei Prismen von sehr transparentem Uviolglas, deren jedes 60 Grad Brechungswinkel besitzt.

Es läßt sich das gesamte Spektrum von 700 $\mu\mu$ im Rot bis 300 $\mu\mu$ im Ultraviolett auf einer einzigen Platte von $12 \times 16{,}5$ cm photographieren und zugleich wird eine Wellenlängen-Skala mit-

1) Siehe den ausführlichen illustrierten „General Catalogue of the Manufactures of Adam Hilger, Ltd." (März 1928), London N. W. 1, 24 Rochester Place, Camden Road.

photographiert; man verwendet dünne photographische Glasplatten, die nach der Krümmung der Brennfläche in der Kassette schwach gebogen werden. — Abb. 78 zeigt diesen Apparat.

Die Absorptionskurve des im Hilgerschen Uviolglas-Spektrographen absorbierten ultravioletten Lichtes zeigt Abb. 73. Die „Dichte“ der Glasoptik gegen ultraviolettes Licht verschiedener Wellenlänge ist in dieser graphischen Darstellung durch den dekadischen Logarithmus von $\frac{\text{einfallendes Licht}}{\text{durchfallendes Licht}}$ ausgedrückt.

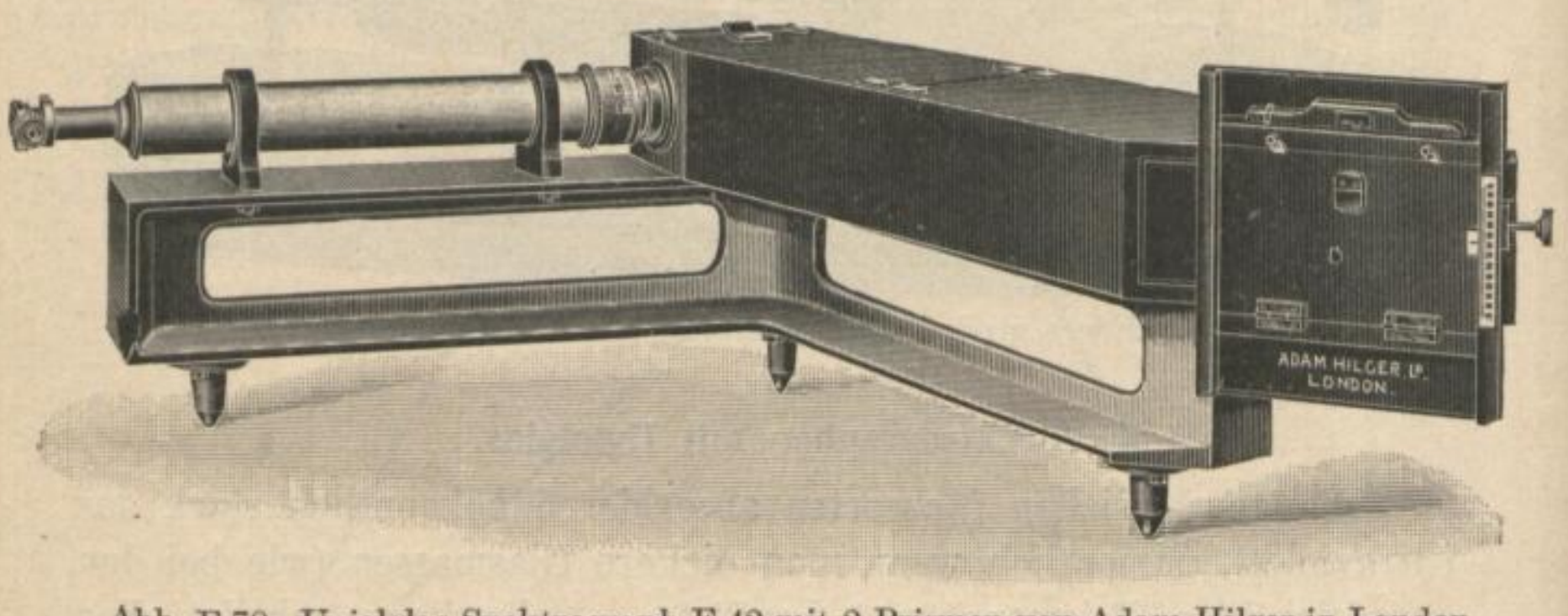


Abb. E 78. Uviolglas-Spektrograph E 42 mit 2 Prismen von Adam Hilger in London.

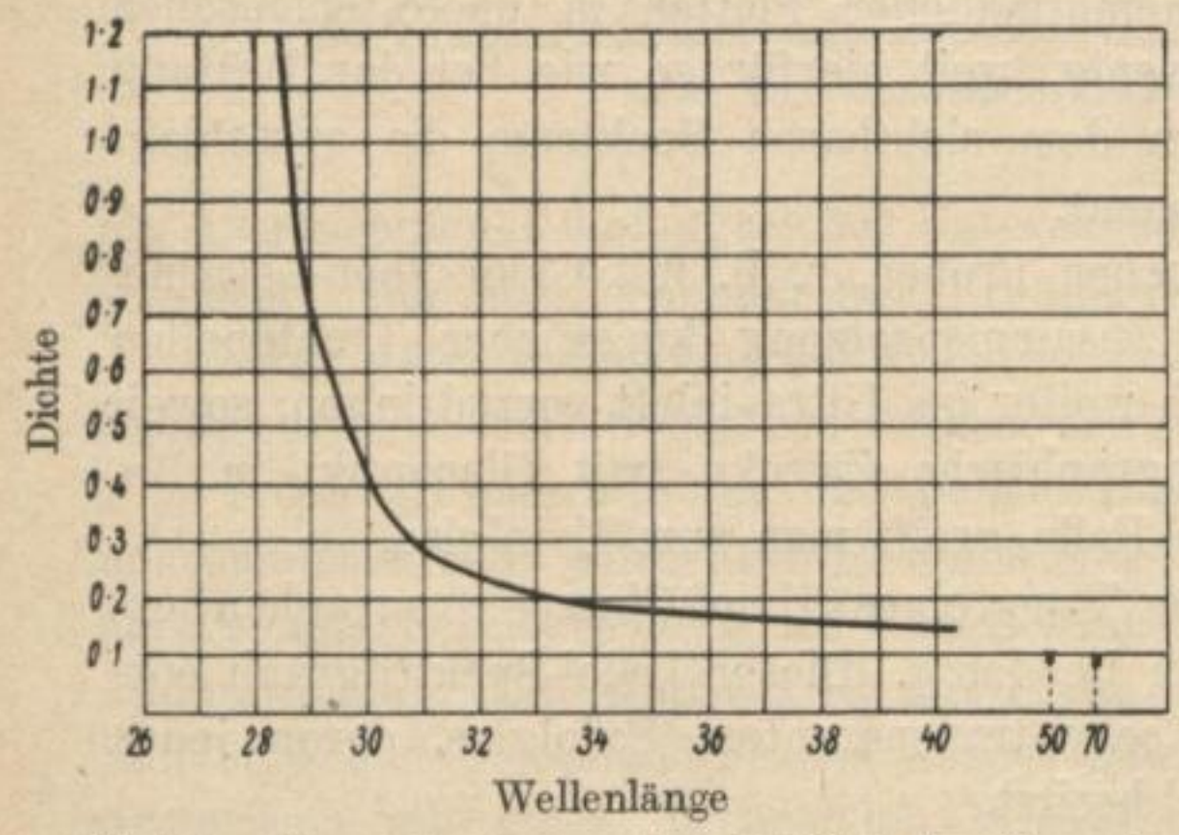


Abb. 79. Absorptionskurve (einschließlich des Versuches durch Reflexion) des Hilgerschen „Uviolglas-Spektrographen“ (nach Adam Hilger).

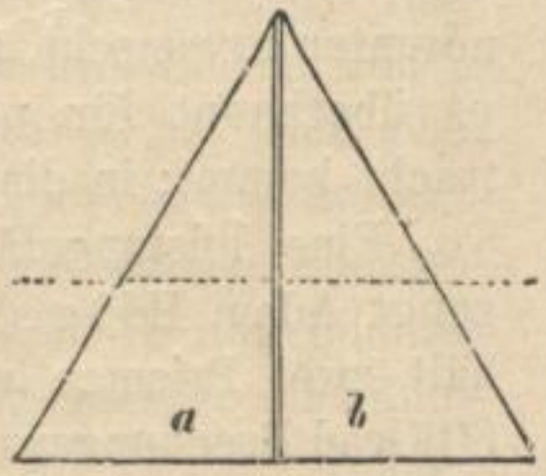


Abb. 80. Cornusches Quarz-Doppelprisma.

Quarz-Spektrographen.

Quarz-Spektrographen sind für das Studium im ultravioletten Spektralbezirke von höchster Wichtigkeit. Man mag Glassorten

welcher Art immer verwenden, stets absorbieren sie mehr oder weniger das Ultraviolett kürzerer Wellenlänge. Zur Herstellung der Quarzoptik benützt man Bergkristall, der senkrecht zur optischen Achse geschnitten ist (wegen seiner Doppelbrechung).

Das Quarzprisma ist zweiteilig, indem es je aus einer rechts- und einer linksdrehenden Prismenhälfte zusammengesetzt ist, jede mit gleichgroßen brechenden Winkel von 30° (Cornusches Doppelprisma, Abb. 80).

Abb. 81 zeigt eine bewährte Konstruktion, wie sie Eder (Denkschriften der Akademie der Wissenschaften. Wien. Nov. 1892; auch: Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. 1904. I. S. 33) seit 1890 mit bestem Erfolg benützt. Die Linsen im Kollimator und in der Kamera besitzen den Fokus 70 bis 100 cm für das gelbe Licht. Zahlreiche Spektrumphotographien in diesem Apparate wurden von Eder größtenteils in Gemeinschaft mit E. Valenta

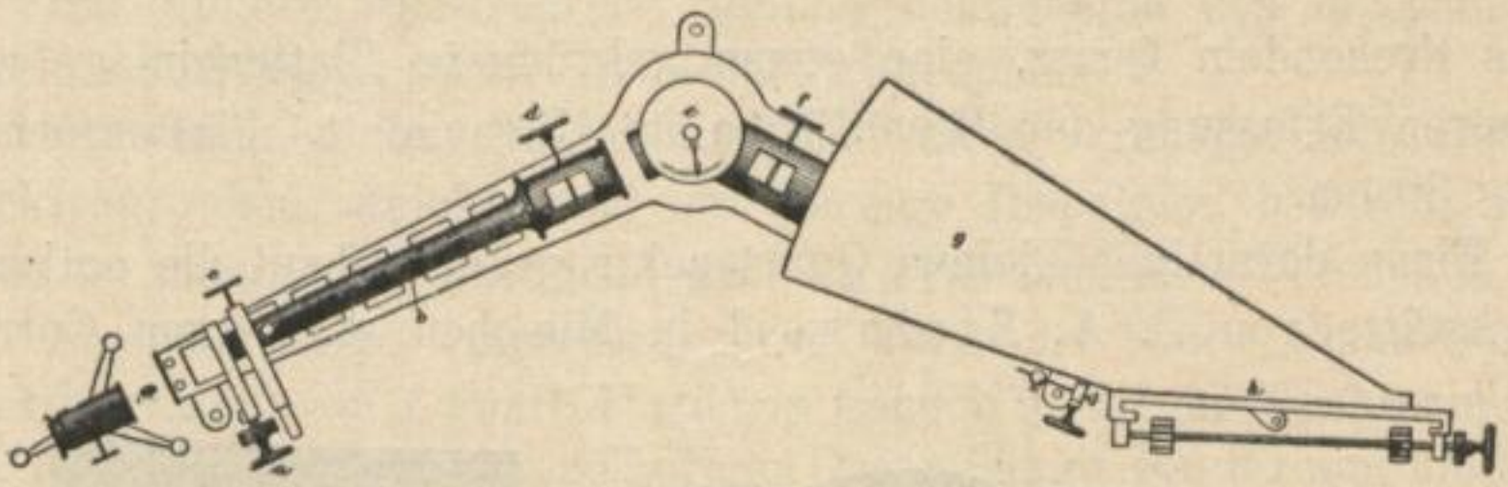


Abb. 81. Anordnung des Quarz-Spektrographen mit Cornuschem Doppelprisma und einfachen Quarzlinsen (Eder)

hergestellt und in den Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien in verschiedenen Jahren veröffentlicht und in dem systematischen Tafelwerke Eder und Valenta „Atlas typischer Spektren“ 1928 heliographisch reproduziert.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man auf die eigene Konstruktion und Adjustierung angewiesen, während man heute vortreffliche gebrauchsfertige Quarz-Spektrographen in verschiedener Ausführung von verschiedenen Optikern in bester Ausführung beziehen kann. Hierüber wurde bereits im I. Bande, 3. Teil, 3. Auflage 1912, S. 48 berichtet. Hier soll nur eine ganz kurze Beschreibung folgen, soweit solche Apparate für die photographisch-chemische Forschung in Betracht kommen, wobei wegen Raummangel auf Vollständigkeit verzichtet werden muß.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Abb. 82 zeigt den ähnlichen großen Quarz-Spektrographen von Franz Schmidt & Haensch in Berlin S 42.

Er besitzt unachromatisierte Quarzlinsen sowohl im Objektiv als in der Kamera, ein zweiteiliges Cornu-Quarzprisma von rechts und

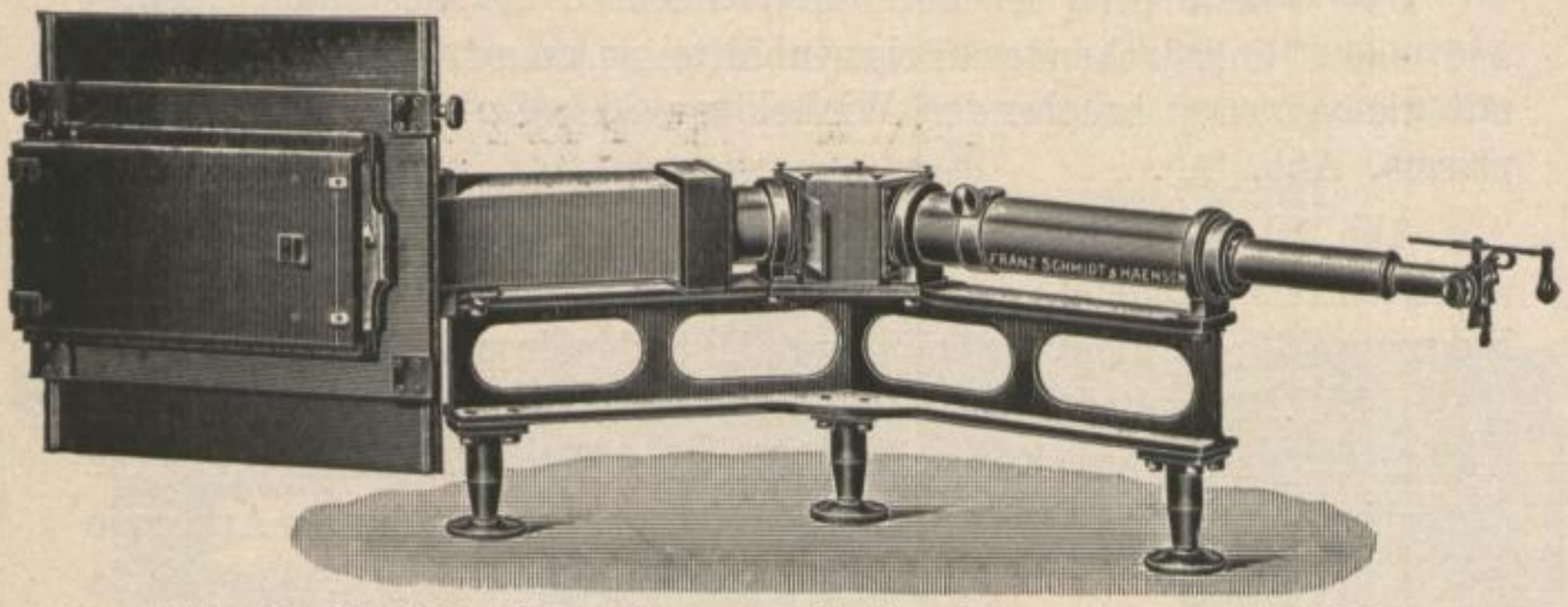


Abb. 82. Fr. Schmidt u. Haensch. Großer Quarzspektrograph (1926).

links drehendem Quarz, eine etwas gekrümmte Platteneinlage zur besseren Erfassung der Brennfläche im Ultraviolett. Plattenformat 15×30 cm.

Einen derartigen kleinen Quarzspektrographen baut die optische Werkstätte von C. A. Steinheil in München mit einem Cornu-

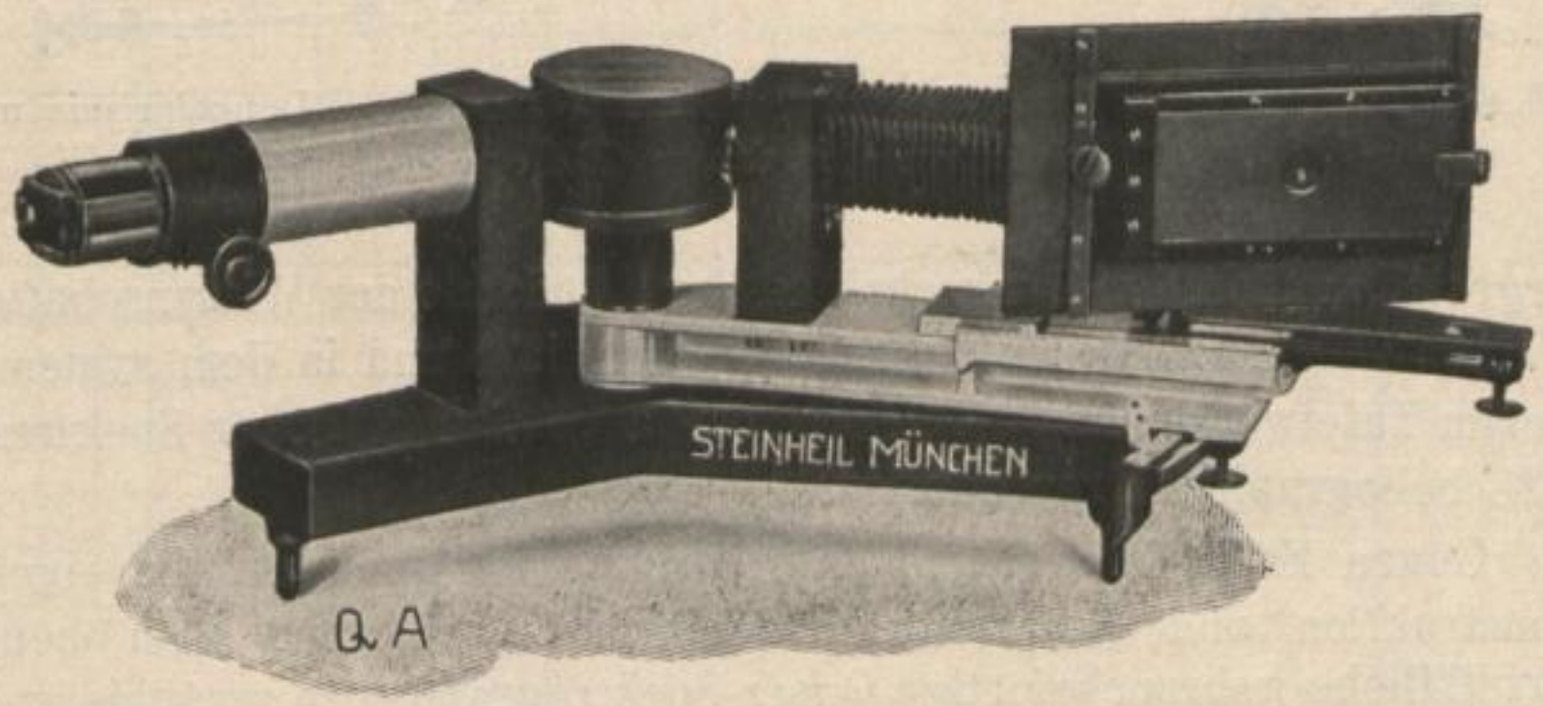


Abb. 83. Quarz-Spektrograph QA von Steinheil.

Prisma, einer einfachen Quarzlinse von 240 mm (für n = 1,59) und zweifachem Kamera-Objektiv, das mit Prisma in dem Kollimator zusammen ein gut geebnetes Spektrum gibt. Plattenformat $4{,}5 \times 10{,}7$ cm. Abb. 83 zeigt diesen kleinen Quarzspektrographen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Für längere Spektren konstruiert Steinheil Spektrographen mit 450 oder 810 mm Brennweite, mit zwei Halbprismen und einem Cornu-Prisma. Plattenformat 6,5 × 18 cm. Diese Apparate dienen zu genauen Wellenlängenmessungen.

Verschiedene Typen von guten Quarzspektrographen fertigt Adam Hilger in London an; eine Wellenlängenskala, die in dem Spektrogramm mitphotographiert wird, erleichtert die Anwendung.

Eine viel benützte Konstruktion ist der „Medium Quarz-Spektrograph" von Adam Hilger in London, welcher ein Cornu-Prisma enthält und zwei senkrecht zur optischen Achse geschnittene Quarzlinsen von 610 mm im Kollimator und in der Kamera. Das Instrument gibt das Spektrum von 800 bis 210 $\mu\mu$ in zirka 20 cm Länge. Es ist ähnlich wie der Uviol-Spektrograph Hilgers mit einer Wellenlängen-Skala versehen und die Kassette ist verschiebbar, so daß auf einer Platte größere Serien von Spektrophotographien hergestellt werden können.

Das äußere Aussehen ist ähnlich demjenigen des in Abb. 78 gezeigten Hilgerschen Uviol-Spektrographen.

Für manche Zwecke benützt man kleine transportable Quarz-Spektrographen, welche wohl nur geringe Dispersion besitzen, aber diese ist immmerhin genügend groß zu orientierenden Versuchen.

Eine derartige empfehlenswerte Type ist der „Small-Quarz-Spektrograph" von Adam Hilger in London [1]), der das Spektrum von 800 $\mu\mu$ bis 185 $\mu\mu$ in einer beläufigen Gesamtlänge von 85 mm umfaßt. Es enthält ein Cornu-Prisma und ist mit einer innen angebrachten Wellenlängen-Skala, die mit dem Spektrum mitphotographiert werden kann und verschiebbarer Kassette versehen (Abb. 84).

Der große Quarzspektrograph [2]) von Adam Hilger in London hat die in Abb. 85 wiedergegebene Form. Das Spektrum ist von 200 bis 1000 $\mu\mu$ auf einer etwa 24 cm langen Platte abgebildet.

Gitter-Spektrographen.

Das Gitter-Spektrum besitzt den erheblichen Vorteil vor dem prismatischen Spektrum, daß die Dispersion gleichmäßig von Rot

---

1) Siehe den ausführlichen illustrierten „General Catalogue of the Manufactures of Adam Hilger, Ltd. (März 1928), London, N. W. 1, 24 Rochester Place, Camden Road.

2) „All Metal medium Quarz-Spectrograph with improved Lens System" von Adam Hilger (General-Catalog März 1928).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

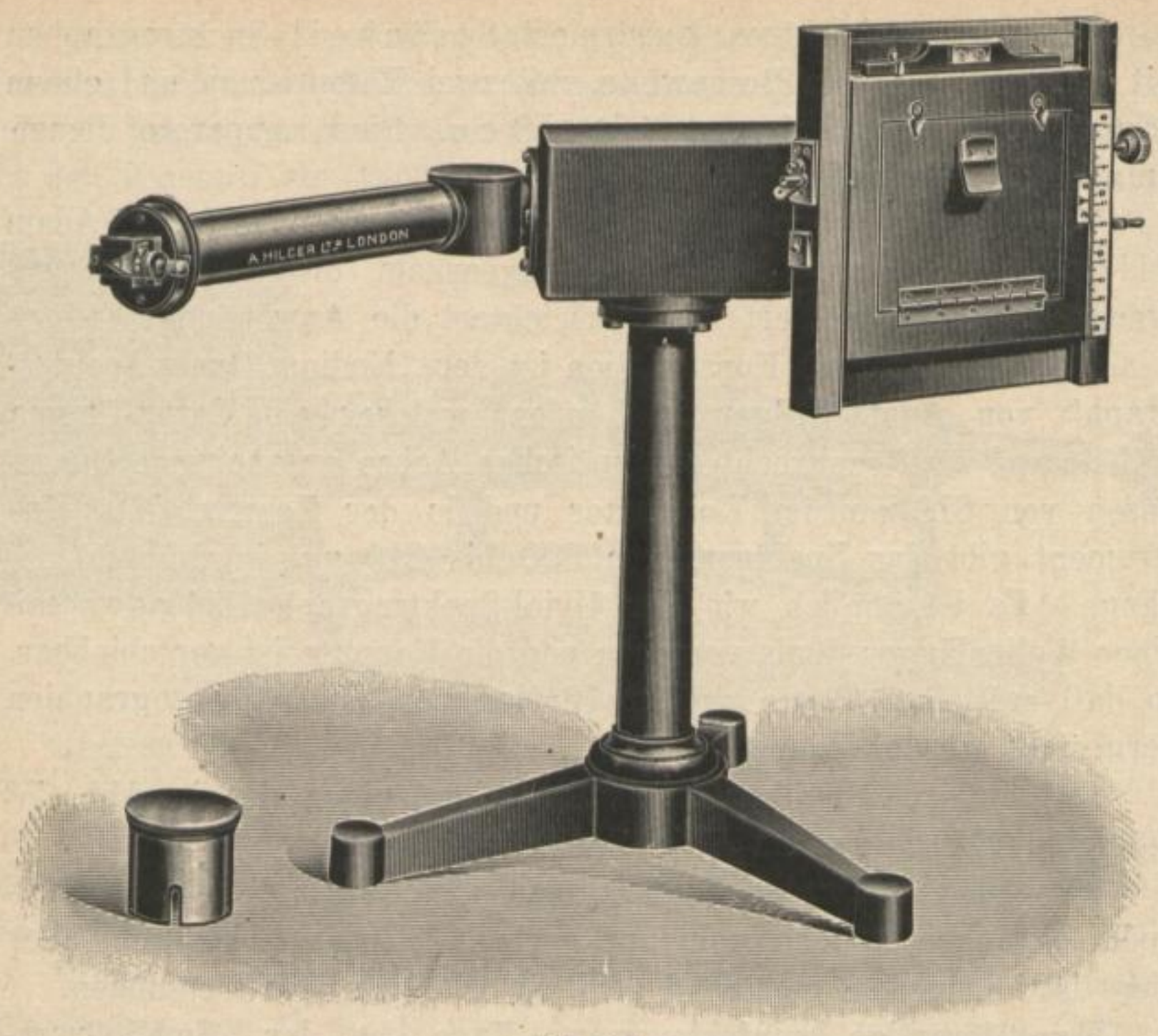


Abb. 84.
Hilgers kleiner Quarz-Spektrograph.

bis ins Ultraviolett über das ganze Spektrum verläuft, während im prismatischen Spektrum das langwellige Spektrum im Rot eng zusammengezogen und im Ultraviolett weit auseinander gezerrt ist.

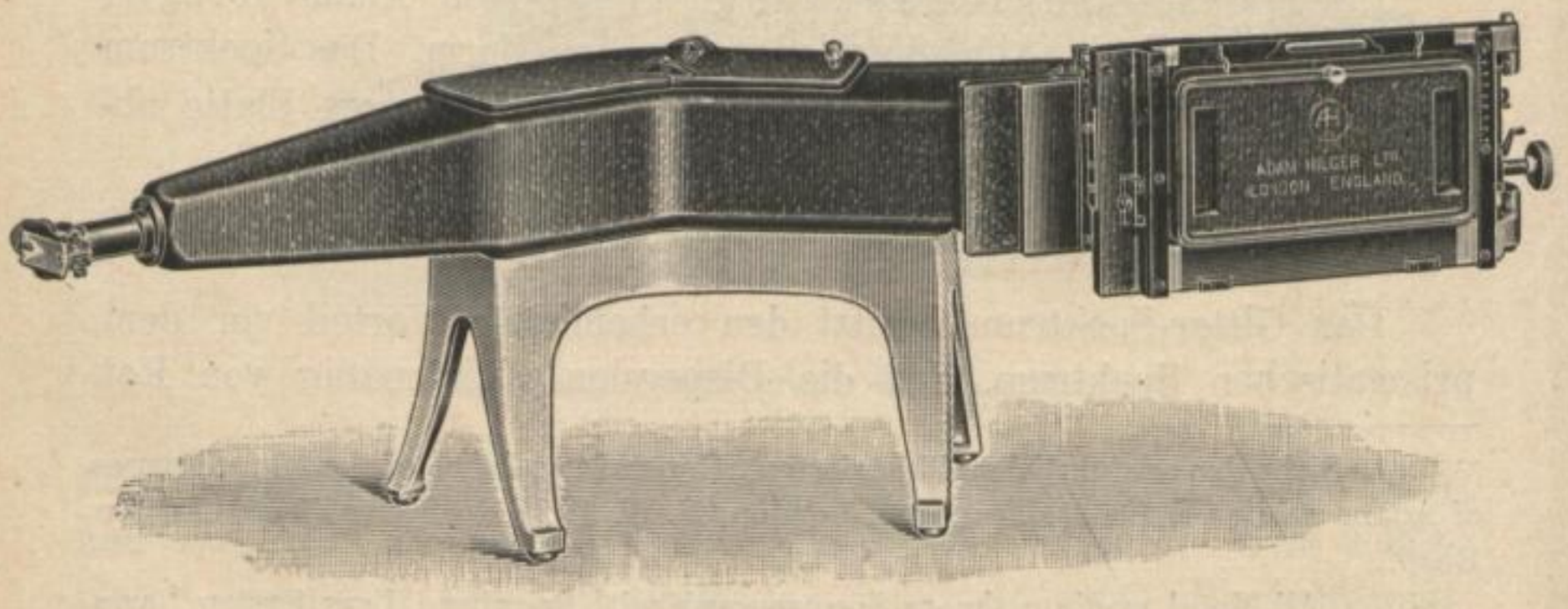


Abb. 85. Hilgers großer Quarz-Spektrograph.

Bei der Prüfung panchromatischer Platten kommt es hauptsächlich auf das Verhalten gegen Rot, Orange, Gelb und Grün an und diese Zonen erscheinen im Gitter-Spektrum besonders deutlich in allen Einzelheiten.

Das Konkavgitter, eine Errungenschaft Rowlands, ist auf Spiegelmetall geritzt und steht an erster Stelle als das präziseste spektroskopische Gerät. Die Spektrumphotographien Eders und Valentas in dem von der Akademie der Wissenschaften in Wien herausgegebenen „Atlas typischer Spektren" (1928) enthalten Spektren, die mit einem großen und einem kleinen Original-Konkavgitter, die Rowland selbst hergestellt und Eder persönlich übermittelt hatte, gemacht wurden. Solche Konkavgitter sowie Plangitter („Diffraktionsgitter"), die nach dem Tode Rowlands in neuester Zeit (1928) mit den Teilmaschinen der John Hopkins University in Baltimore unter Aufsicht von R. W. Wood hergestellt werden, sind ziemlich kostspielig.

Aus diesem Grunde bedient man sich häufig auch in phototechnischen Versuchs-Laboratorien kleiner Gitter-Spektrographen mit Abklatsch-Gittern und Glasoptik, welche die Art der Farbenempfindlichkeit sehr deutlich erkennen läßt.

Einfachere Gitter-Spektrographen werden mittels Abklatschgitter (sogenannte Thorpsche Abzüge, „Replicas") nach den Original-Rowlandschen Gittern hergestellt. Diese Apparate bestehen im wesentlichen aus dem gewöhnlichen Spaltfernrohre (Kollimator), dem Gitter und der photographischen Kamera mit einem achromatischen Objektiv.

Man muß allerdings beachten, daß im Gitter-Spektrum erster Ordnung im roten Spektralbezirke bei der Wellenlänge 700 $\mu\mu$ sich das Ultraviolett des Spektrums zweiter Ordnung von der Wellenlänge 350 $\mu\mu$ überlagert und im Dunkelrot bei 760 $\mu\mu$ sich Ultraviolett von der Wellenlänge 380 $\mu\mu$ einschiebt, welches dem Beginn des Ultraviolett am Ende des sichtbaren Violett entspricht.

Prüft man farbenempfindliche Platten aber mit Azetylenlicht oder mit dem Lichte von elektrischen Metallfadenlampen, so kommt das störende Ultraviolett zweiter Ordnung nicht zur Geltung oder kann eventuell durch Vorschalten einer Spiegelglasplatte, die im Querschnitt etwas grünstichig ist, beseitigt werden.

Benützt man aber Lichtquellen, die sehr reich an Ultraviolett sind, so wird man wohl hellgelbe Lichtfilter vor dem Spalt des Apparates einschalten müssen.

Mit Erfolg konstruierten im Jahre 1907 C. E. Kenneth Mees und S. H. Wratten einen Spektrographen für technische Zwecke, speziell zur Prüfung farbenempfindlicher Platten (Brit. Journ. Phot. 1907, S. 384). Der Spektrograph ist mit einem Abklatsch-Gitter, einer Wellenlängen-Skala und mit einem Keil vor dem Spalt versehen.

Die neue Form, welche Mees seinem Gitter-Spektrographen zur Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Materialien gab und welche der Optiker Adam Hilger in London[1]) 1926 ausführt, ist in dem Diagramm Abb. 86 dargestellt.

In der Kassette befindet sich beim Plattenhalter eine Wellenlängenskala, die sich nächst dem Spektrum mitphotographiert; das in das rote Spektrum der ersten Ordnung übergreifende ultraviolette Spektrum zweiter Ordnung wird abgeschnitten durch Gelbfärbung der Gelatine der Skala an einem Ende. — Das blaue und ultraviolette Licht dringt ungeschwächt durch den ungefärbten Teil der Gelatine. — Vor dem Spalte befindet sich ein Keil von neutralgrauem Glas (s. Abb. 86).

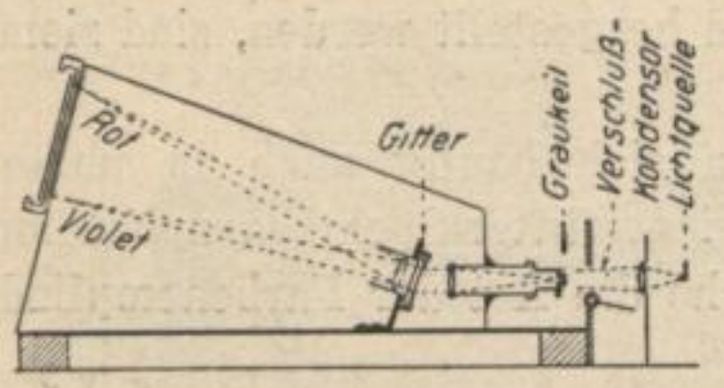


Abb. 86. Diagramm von Mees-Hilgers Gitter-Keil-Spektrographen.

Der von ihnen benützte Graukeil ließ an der hellsten Kante 10 000mal mehr Licht durch als an der dunkelsten Stelle, so daß die Dichte von 0,2 bis 4,2 (Log. i) anstieg.

Derartige kleine Gitter-Spektrographen mit Abklatsch-Gitter werden in sehr leistungsfähiger Form auch von deutschen optischen Anstalten erzeugt.

Das Aussehen der damit erhaltenen Spektrum-Photographien mit einphotographierter Wellenlängenskala zeigen die Abb. 87 bis 88. Abb. 87 zeigt eine Serie von Spektrogrammen auf verschiedenen Typen farbenempfindlicher Platten von Mees (1926); die „Keil-Spektra“ beziehen sich auf Bromsilber-Gelatine-Platten und auf die Wirkung verschiedener Farben-Sensibilisatoren.

---

1) Abbildungen dieser Spektrogramme in größerem Format sind in der Abhandlung von C. E. K. Mees (Mitteilungen des Forschungs-Laboratoriums der Eastman Kodak Co. im Journ. of. Franklin Institut, Mai 1926, S. 525) enthalten. — Daselbst sind der Gitter-Spektrograph mit Keil und Spektrogramme über die Farbenempfindlichkeit photographischer Platten geschildert.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Abb. 87 zeigt die Wirkung der Farben-Sensibilisatoren Akridinorange, Orthochrom, Pinachrom und Pinazyanol.

Abb. 88 gibt in größeren Dimensionen die Spektrum-Photographien auf Bromsilber-Gelatine-Platten, die mit Dizyanin (der Höchster Farbwerke) sensibilisiert wurden, andererseits mit dem von

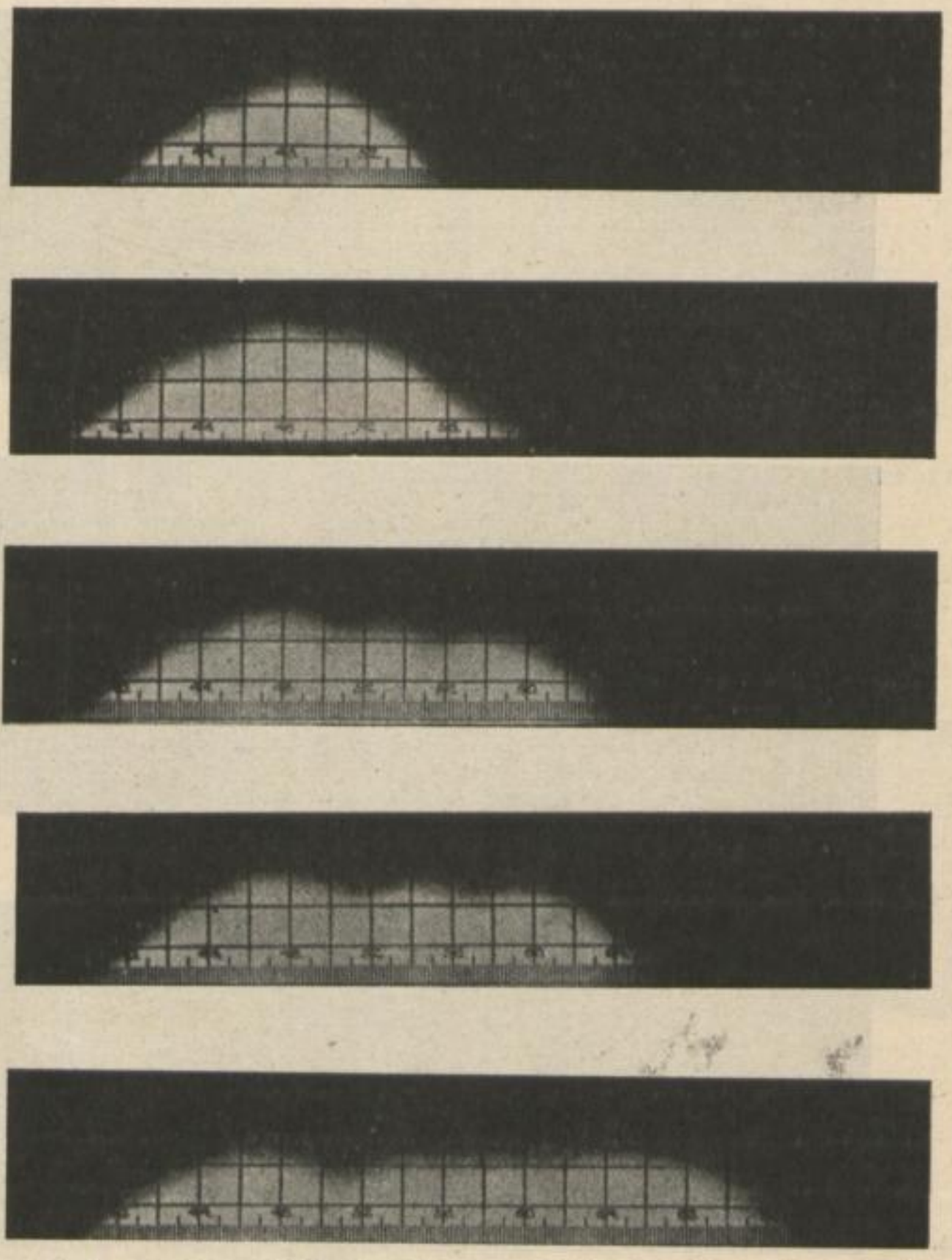


Abb. 87. Spektrumphotographien mittels des Mees-Hilgerschen Gitterspektrographen mit Keilspalt und mitphotographierter Wellenlängenskala.

Adams & Haller (1919) hergestellten Kryptozyanin und dem weit besseren von H. T. Clark (1925) entdeckten Neozyanin, das ein spezieller Sensibilisator für Infrarot ist.

Sämtliche Abbildungen von 86 bis 88 sind der Abhandlung von C. E. K. Mees entnommen.

Abb. 89 und 90 zeigen die Anordnung eines anderen Gitter-Spektrographen von Franz Schmidt & Haensch in Berlin S. 42.

S ist der verstellbare Spalt, *K* die Kollimatorlinse, *G* das Abklatsch-Gitter auf einer Glasplatten-Unterlage, *O* das photographische Objektiv und *G* die photographische Platte, Plattenformat 9×12 cm.

Abb. 88. Spektrumphotographien mittels des Mees-Hilgerschen Gitterspektrographen mit Keilspalt und mitphotographierter Wellenlängenskala.

Abb. 90 zeigt die Außenansicht eines derartigen Gitter-Spektrographen von Schmidt & Haensch.

Auch Spindler & Hoyer in Göttingen erzeugen handliche Gitter-Spektrographen mit Rowlandschen Plangitter (s. dieses Handbuch I. 3. 1912. S. 60). Die Spektrumphotographien von Dr. v. Oven

(Perutz-Trockenplattenfabrik in München), Tafel VI dieses Buches sind mit einem solchen Instrument hergestellt.

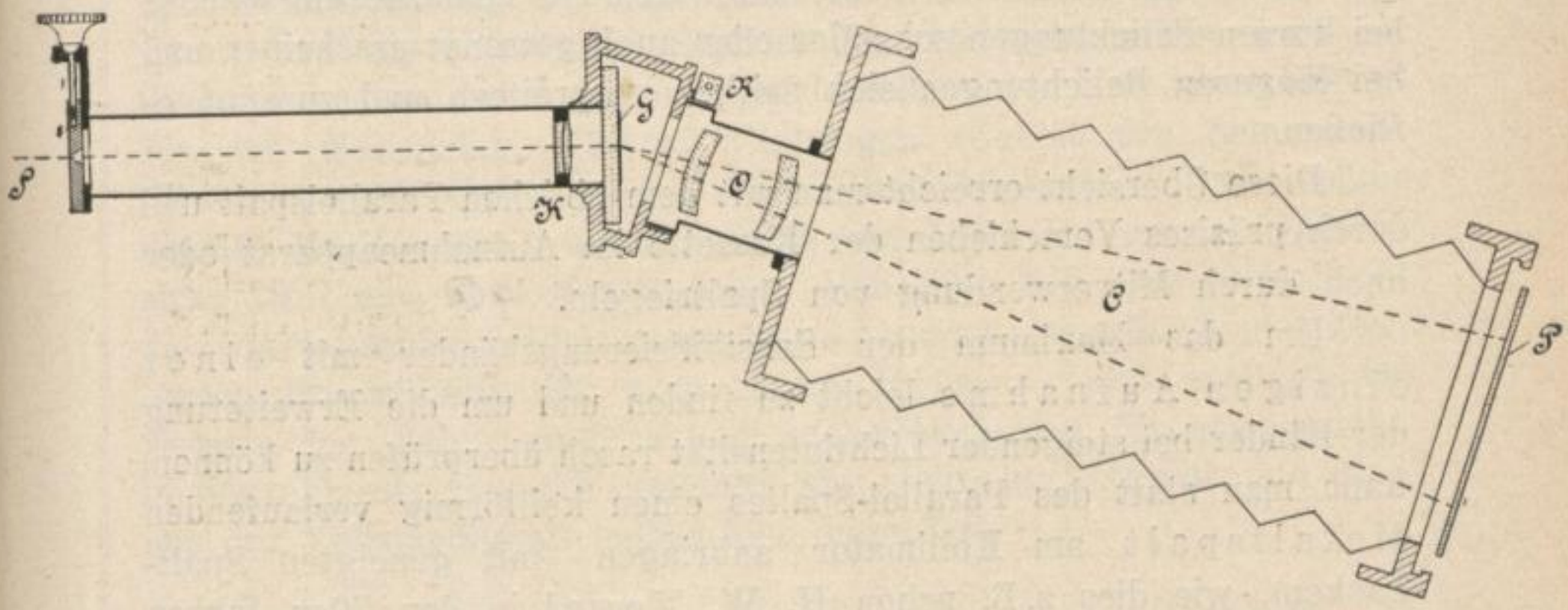


Abb. 89. Gitterspektrograph von Schmidt & Haensch in Berlin (mit Abklatschgitter).

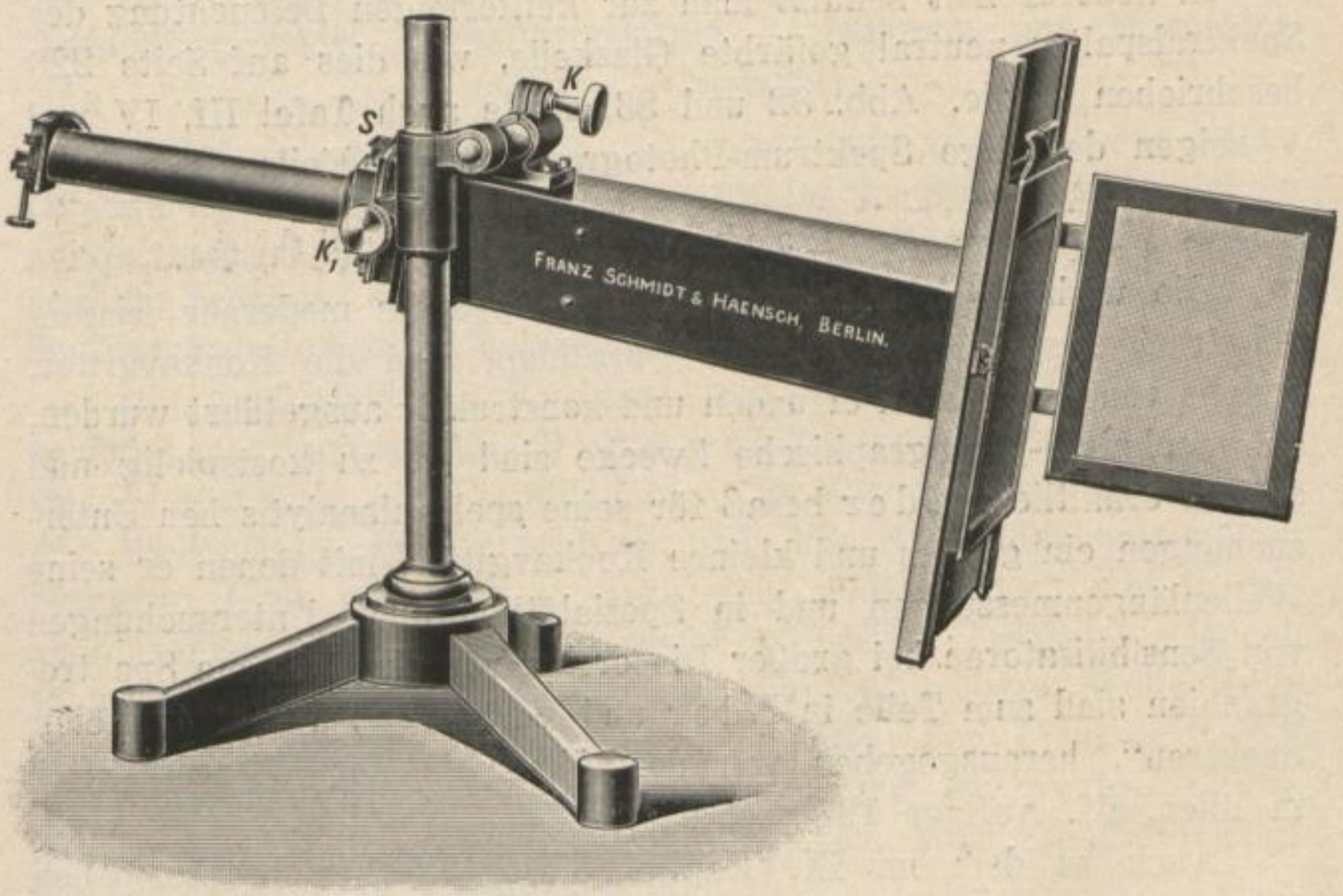


Abb. 90. Äußere Ansicht des kleinen Gitterspektrographen von Schmidt & Haensch in Berlin.

Spektrographen für Serienaufnahmen und mit Keilspalt.

Bei der Prüfung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten pflegt man auf einer und derselben Platte Serien-Aufnahmen

mit verschiedener Belichtungszeit zu machen, weil man prüfen will, ob bei steigender Exposition die Schwärzung z. B. in Rot und Blau gleichartig zunimmt oder nicht und wie die Sensibilisierungsbänder bei kurzen Belichtungen schmäler oder auch getrennt erscheinen und bei längeren Belichtungen sich seitlich verbreitern und zusammenfließen.

Diese Übersicht erreicht man mit dem üblichen Parallelspalt und durch präzises Verschieben der Kassette im Aufnahmeapparat oder auch durch Mitverwendung von Spaltriegeln.

Um das Maximum der Sensibilisierungsbänder mit einer einzigen Aufnahme leicht zu finden und um die Erweiterung der Bänder bei steigender Lichtintensität rasch überprüfen zu können, kann man statt des Parallel-Spaltes einen keilförmig verlaufenden Metallspalt am Kollimator anbringen (mit geneigten Spaltbacken), wie dies z. B. schon H. W. Vogel in den 70er Jahren praktiziert hat.

In neuerer Zeit benützt man zur keilförmigen Beleuchtung des Spektralspaltes neutral gefärbte Glaskeile, wie dies auf Seite 226 beschrieben wurde. Abb. 82 und 83, sowie auch Tafel III, IV und V zeigen derartige Spektrum-Photographien mit Keilspalt.

Konkavgitter.

Die wichtigsten Präzisions-Spektral-Apparate moderner wissenschaftlicher spektralanalytischer Forschung sind die Konkavgitter, welche von Rowland erfunden und konstruktiv ausgeführt wurden. Für technisch-photographische Zwecke sind sie zu kostspielig und schwer erhältlich. Eder besaß für seine spektralanalytischen Untersuchungen ein großes und kleines Konkavgitter, mit denen er seine Wellenlängenmessungen und in Spezialfällen auch Untersuchungen von Sensibilisatoren bei großer Dispersion vornahm. Solche Spektrographien sind zum Teile in Eder und Valenta, „Atlas typischer Spektren“, herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften in Wien, III. Auflage 1928, enthalten.

Auch zu dem im IX. Kapitel dieses Werkes beschriebenen Untersuchungen Eders über die Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge des Lichtes sind Spektrumphotographien mit einem Rowlandschen Konkavgitter durchgeführt worden. Über diesen Gegenstand wurde bereits in diesem Handbuche I. Band, III. Teil, 3. Auflage 1912 geschrieben und eine weitere Behandlung dieses Stoffes fällt nicht in den Rahmen des vorliegenden Buches.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Fluorit-Vakuum-Spektrograph.

Spektralapparate mit Flußspat-Prismen und -Linsen sind besonders durchlässig für das äußerste Ultraviolett. Man beseitigt damit den absorbierenden Einfluß der atmosphärischen Luft im Spektralapparat durch Auspumpen derselben. — Man kann hiermit bis zur Wellenlänge 133 $\mu\mu$ vordringen (Gebiet der Schumann-Strahlen). — V. Schumann führte diese Apparate ein, viel später machte Mc. Lennan unter Beihilfe von Adam Hilger in London zirka 1927 eine neue Konstruktion. Man kann mit ihrer Hilfe leicht die Überlegenheit bindemittelfreier (Schumann) oder bindemittelarmer Bromsilberplatten (von Adam Hilger 1925 erzeugt) im Gebiete der „Schumann-Strahlen" nachweisen, aber für gewöhnliche photographische Zwecke kommen sie nicht in Betracht; sie sind nur der Vollständigkeit halber hier angeführt.

III. Abhängigkeit der Empfindlichkeit photographischer Schichten von der Wellenlänge des Lichtes. — Blauempfindliches Bromsilber. — Herstellung reiner Bromsilbergelatine — Jodbrom- und Bromchlorsilber. — Chlorsilber.

Es ist allgemein bekannt, daß Licht von verschiedener Farbe (Wellenlänge) in sehr verschiedenem Maße die Silberhaloidschichten photographisch beeinflußt. — Hier soll in Kürze bloß dasjenige erwähnt werden, was für die Durchführung der photographischen Sensitometrie unbedingt notwendig ist.

1. Gewöhnliche Bromsilber-Gelatine-Platten bezeichnet man kurzweg als „blauempfindliche" Platten, weil sie das Maximum der Empfindlichkeit im Sonnenlichte ungefähr bei der Wellenlänge 451 $\mu\mu$ besitzen und ihre Empfindlichkeit gegen Blaugrün, Grün und Gelb so stark sinkt, daß solches Licht in der photographischen Praxis kaum mehr „effektiv" erscheint. Jedoch schwankt diese Empfindlichkeit gegen das Licht größerer Wellenlänge je nach der Wellenlänge und dem Verhalten von Emulsionen mit Bromsilberkörnern verschiedenen Reifestadiums ein wenig. — Dagegen weist die Bromsilber-Gelatine eine sehr hohe Empfindlichkeit für Blauviolett und Ultraviolett auf.

Herstellung einer reinen Bromsilber-Gelatine mittlerer Empfindlichkeit als Standard für sensitometrische Untersuchungen.

Das Schwanken der Spektral-Empfindlichkeit reiner Bromsilber-Gelatine je nach ihrer Herstellungsweise kann zu Unsicherheiten

beim Eichen von Sensitometern oder bei der Bestimmung der relativen Aktinität von Lichtquellen führen. Deshalb benützt der Verfasser bei solchen Arbeiten eine Darstellungsweise, welche Lüppo-Cramer für unreife Diapositiv-Emulsion empfohlen hatte, die aber für diesen Zweck durch einen leicht zu behandelnden Reifungsvorgang auf eine mittlere Empfindlichkeit von etwa 50° Eder-Hecht gebracht wurde.

a) 5 g Gelatine, 25 ccm Wasser, 50 ccm einer zehnprozentigen Bromkaliumlösung werden bei 45° C gelöst.

b) 5 g Silbernitrat werden in 50 ccm Wasser gelöst und dann Ammoniak bis zur Wiederauflösung des Niederschlages zugesetzt (Zimmertemperatur).

Man gießt die Lösung b allmählich und langsam unter Schütteln in die Lösung a, mischt gut, stellt dann diese Mischung 1—2 Stunden lang in ein warmes Wasserbad von 40 bis 45° C, fügt dann verdünnte Salzsäure (aus $2^1/_2$ ccm konzentrierter Salzsäure und 5 ccm Wasser) zu, schüttelt und fügt schließlich eine 45° C warme Lösung von 5 g Gelatine in 30 ccm Wasser hinzu, mischt, läßt 5 Minuten lang stehen und gießt zum Erstarren über Nacht in eine Porzellanschale, worauf man in der üblichen Weise wäscht. Durch den Zusatz von Salzsäure soll nur der größte Teil des Ammoniaks neutralisiert werden, so daß die Mischemulsion noch alkalisch reagiert. Die gewaschene Emulsion gewinnt durch Nachdigerieren bei 40° C während einer Stunde an Empfindlichkeit. — Fügt man zu 100 ccm der gußfertigen Emulsion 5 ccm einer einprozentigen Lysidinlösung[1]), so steigt die Empfindlichkeit auf das Doppelte. — Alle diese Emulsionen sollen gleichmäßig mit Gießmaschinen auf das Glas (am besten Spiegelglas) aufgetragen werden. Die mit der Hand gegossenen Platten sind für sensitometrische Zwecke zu ungleichmäßig.

2. Jodbromsilber-Gelatine mit einem Gehalt von ungefähr 3% Jodsilber wird allgemein für die Fabrikation von rapiden Trockenplatten (Negativverfahren) verwendet. — Solche Platten zeigen eine kleine Verbreiterung des maximalen Empfindlichkeitsstreifens im Sonnenspektrum, so daß das Empfindlichkeitsmaximum bis etwa 460 $\mu\mu$ vorrückt (Eder).

3. Bromsilber-Kollodium ist weniger empfindlich gegen Hellblau und zeigt im Sonnenspektrum das Maximum bei 430 $\mu\mu$ im Indigoblau.

1) Lysidin kann von den Farbwerken vorm. Meister, Lucius und Brüning in Höchst a. Main bezogen werden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

4. Nasses Jodsilber-Kollodium zeigt den Beginn der Schwärzung kräftig bei 437 $\mu\mu$ in Blau (Eder), fällt dann gegen Blaugrün jäh ab und die Empfindlichkeit wächst bei verlängerter Belichtung nur gegen Ultraviolett. — Ähnlich verhält sich reine Jodsilber-Gelatine mit chemischer Entwicklung.

5. Chlorsilber-Gelatine oder -Kollodium kann man violettempfindlich bezeichnen, denn bei Sonnenlicht und bei Verwendung von Glasoptik (ohne Flint) liegt das Empfindlichkeitsmaximum zwischen Violett und Ultraviolett, — ungefähr bei 395 $\mu\mu$. Mit Gitter- oder Quarz-Spektrographen, die das Ultraviolett nicht schwächen, tritt das Maximum bei 355 $\mu\mu$ auf (Eder). — Hierher gehören die Chlorsilber-Gelatine-Emulsionen mit chemischer Entwicklung (Gaslichtpapier, gewisse Diapositivplatten).

6. Wenig gereifte, feinkörnige, wenig empfindliche Bromsilber-Gelatine-Emulsionen des Handels zeigen im Allgemeinen dieselbe spektrale Empfindlichkeit wie die sub 1. erwähnten, hochempfindlichen Bromsilber-Emulsionen. — Hierher gehören Kino-Positiv-Filme (mit unreifem Bromsilber), Diapositivplatten, sowie photomechanische Platten und Bromsilbergelatinepapier.

Diese unreifen Emulsionen sind mehr einheitlich im Korn der Bromsilbermischung, während die Rapidplatten des Handels stets variable Gemische von hochempfindlichen gröberen Körnern, weniger empfindlichen und weniger zu Schleier neigenden Bromsilberpartikeln enthalten. — Hier sei gleich bemerkt, daß die verschiedenen Bromsilberarten gegen das Licht längerer Wellenlängen in gewissen Einzelheiten sich etwas anders verhalten können (etwas empfindlicher gegen langwelliges Licht bei flacher Gradation) als unreifes Bromsilber.

Für gewisse sensitometrische Versuche werden die mehr homogenen unreifen Bromsilberarten bevorzugt; auch sind sie im allgemeinen der Sensibilisierung durch Farbstofflösungen etwas besser zugänglich.

Es muß gewarnt werden, „gewöhnliche Trockenplatten“ des Handels, welche vom Fabrikanten als „nicht orthochromatisch“ bezeichnet werden, ohne weiteres als reine Bromsilber- oder Jodbromsilber-Gelatinen anzusehen, weil sie nicht selten doch irgendwie mit Farbstoffen versetzt sind.

Chlorbromsilber-Gelatine, wie sie im Handel für Diapositiv-Platten mitunter erzeugt wird und relativ viel Bromsilber enthält, zeigt im

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

allgemeinen dasselbe Verhalten gegen das Spektrum wie das sub. 6. erwähnte unreife Bromsilber hat, zeigt steilere Gradation, weshalb auch manche Kino-Positiv-Filme hiermit hergestellt werden.

Der Gehalt von Jodsilber rückt das Sensibilisierungsband des Bromsilbers ein wenig weiter gegen Grün zu und zwar mit steigendem Jodsilbergehalt mehr und mehr.

Die Sensibilisierungskurve des reinen Bromsilbers findet sich nach Mees (Mitteilung 262 des Eastman Kodak Forschungs-Laboratorium vom Jahre 1926) in der Abb. 86 dargestellt, ebenso die

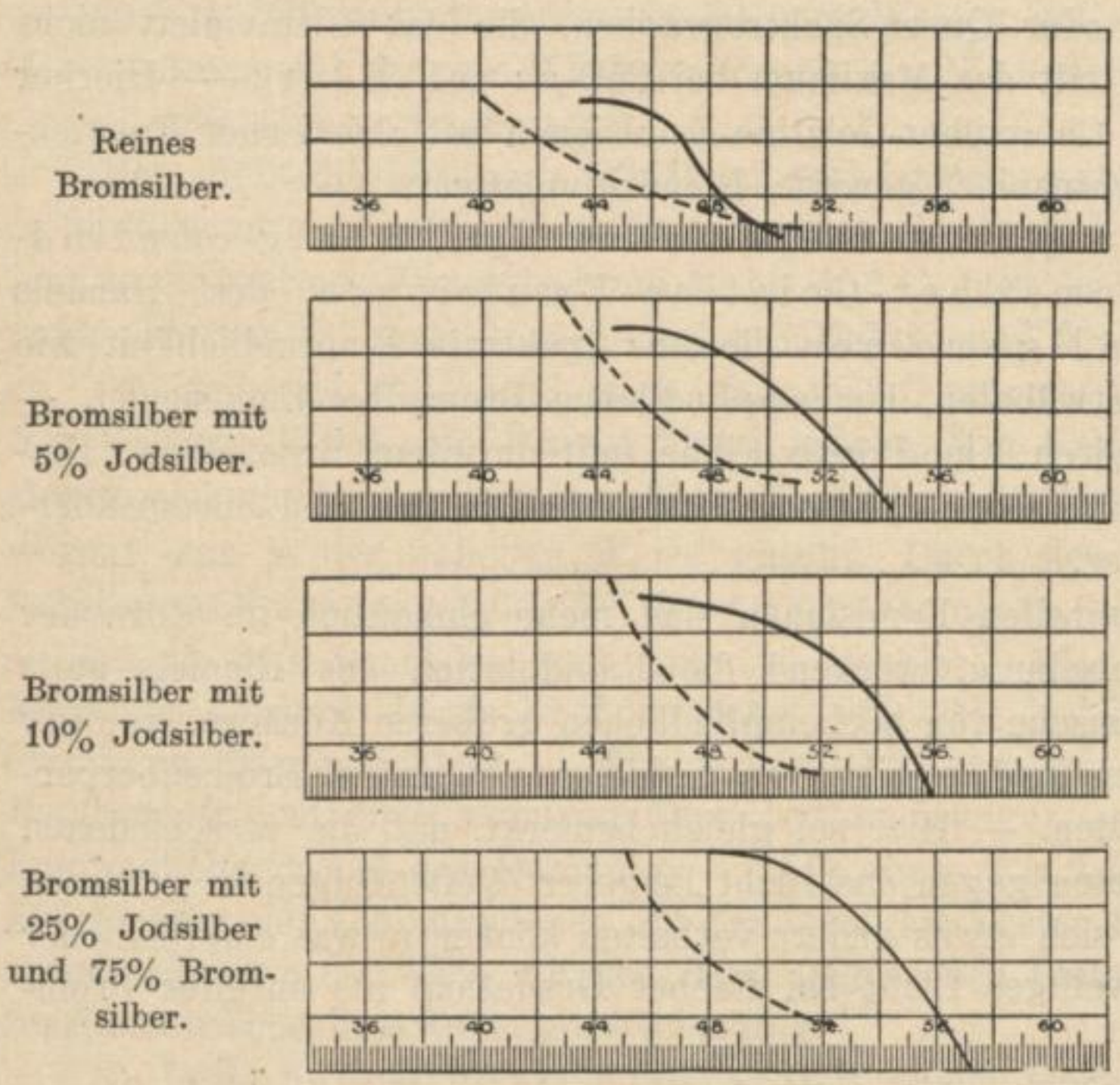


Abb. 91. Empfindlichkeits- und Absorptionskurven von Bromsilber und Jodbromsilber im Spektrum (die gestrichelte Linie stellt die Absorption, die voll ausgezogene die photographische Empfindlichkeit dar).

Empfindlichkeitskurven für Bromsilber-Gelatine, enthaltend 5%, 10% und 25% Jodsilber. Die Empfindlichkeitskurven in Abb. 91 sind voll ausgezeichnet, dagegen die optischen Absorptionskurven gestrichelt gezeichnet.

Die Lichtabsorption in Schichten von Bromsilber und Chlorsilber untersuchten J. Eggert und R. Schmidt (Zeitschr. f. Physik 1928, Bd. 48, S. 54). Die Absorptionsspektra von dünnen Schichten von mikrokristallinischen Brom- und Chlorsilberemulsionen wurden bei sehr schwachem Lichte photographiert.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Absorptionsgrenze gegen Licht langer Wellenlänge lag beim Bromsilber bei der Wellenlänge 480 und beim Chlorsilber bei 400.

Größere Mengen von Jodsilber in der Jodbromsilbergelatine ändern das spektrale Verhalten gegen das Spektrum bedeutend, wie neuere Untersuchungen von Emery Huse und C. E. Meulendyke (im Eastman Kodak-Untersuchungslaboratorium. Mitteilung Nr. 256, 1926; Sciene et Ind. phot. 1926. Nr. 6. S. 26) ergaben; die Spektrumphotographien sind in Tafel III dargestellt. Die Wirkung an der nassen Jodsilberkollodiumplatte reichte bis 440 $\mu\mu$ (entsprechend Eders Befunden s. S. 238); ebenso mit Jodsilbergelatine und physikalischer Entwicklung. Gemische von Bromsilbergelatine mit mindestens 35% Jodsilber zeigen denselben Grenzwert. Die Emulsion mit 5 bis 10% Jodsilber rückt bis über 550 $\mu\mu$ vor, welche gesamten Verhältnisse in Abb. 91 und Tafel IV ersichtlich sind.

Auch Baldsiefen, Sease und Renwick stellten in dieser Richtung Untersuchungen an (Phot. Journ. 1926. S. 163), wobei sie auch die Solarisationsphänomene auf jodierten Bromsilbergelatineplatten studierten. Huse und Meulendyke zeigen diese Erscheinungen unter J ihrer Tafel.

Selbstverständlich wird der Verlauf der Empfindlichkeitskurven verschiedenartiger photographischer Platten durch die Natur der angewendeten Lichtquellen (Helligkeitsverteilung der Farben) beeinflußt.

Die Wirkung des Sonnenspektrums kann als Standard für die Prüfung gelten. — In Tafel I, II und III sind Eders Spektrographien bei Sonnenlicht mit gut durchlässiger Glasoptik als positive Bilder abgebildet.

Noch übersichtlicher sind die schematischen Darstellungen der Wirkungen des Sonnenspektrums auf farbenempfindliche Bromsilber-Gelatine (Abb. 92).

In Wellenlängen des wirkenden farbigen Lichtes ausgedrückt, ergibt sich folgende Übersicht der Farbenempfindlichkeit verschiedener orthochromatischer und panchromatischer Platten (bezogen auf Sonnenlicht):

Die Farbensensibilisierung der orthochromatischen Erythrosinplatten erstreckt sich kräftig zwischen λ 548 bis 570 $\mu\mu$ im Gelbgrün, gegen Orange verläuft das Sensibilisierungsband über die Fraunhofersche Linie D bis zirka λ 600 $\mu\mu$, andererseits bis über λ 500 im Grün. — „Panchromatische“ Pinachromplatten zeigen ein ziemlich geschlossenes Sensibilisierungsband

Wirkung des Sonnenspektrums auf Bromsilbergelatine mit Farbstoffen nach Eder.

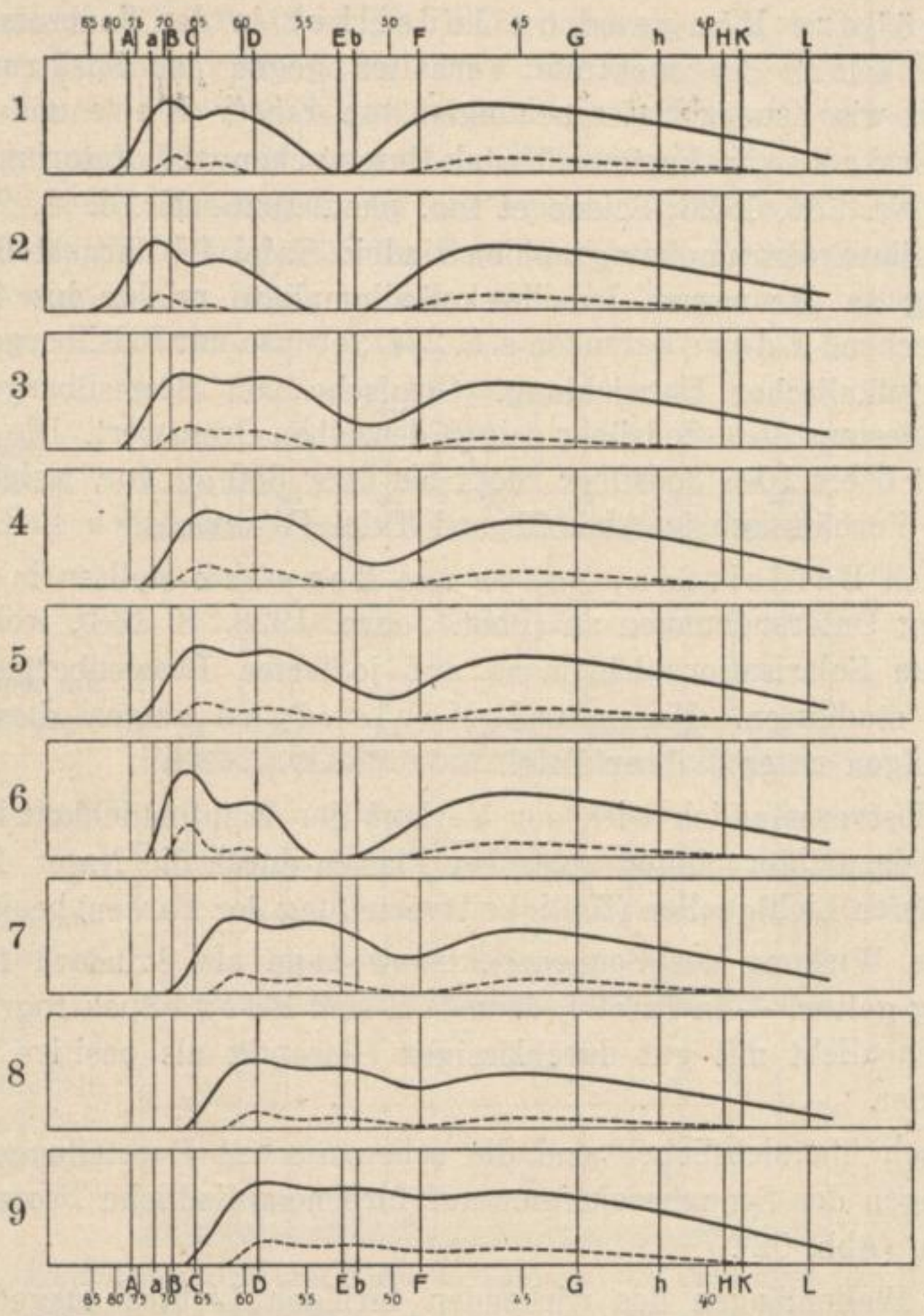


Abb. 92. 1. Dizyanin. — Dizyanin A. — 3. Pinachromblau. — 4. Pinachromviolett. — 5. Pinazyanol. — 6. Pinazyanolblau. — 7. Pinachrom. — 8. Orthochrom. — 9. Pinaverdol.

von Orange (zirka λ 600 $\mu\mu$ oder 670 $\mu\mu$) jenseits der Fraunhoferschen Linie *C* über Gelb und Grün im Anschluß an die Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers (Blau, Violett, Ultraviolett); im Blaugrün befindet sich eine Zone geringerer Empfindlichkeit. Pinaverdol sensibilisiert etwas weniger weit ins Orange, zeigt aber die Empfindlichkeitslücke im Blaugrün nicht oder sehr wenig. Pinazyanol

sensibilisiert im roten bis gelbgrünen Bezirk bis λ 680 $\mu\mu$ kräftig, bis 700 $\mu\mu$ mäßig und darüber schwach; im Blaugrün zeigen Pinazyanolplatten ein starkes Empfindlichkeitsminimum, das durch Mischen mit Pinaverdol überbrückt werden kann. Dizyaninplatten sind von Orange bis ins Infrarot (über λ 8000) empfindlich, zeigen aber eine sehr geringe Gelb- und keine Grünempfindlichkeit; sie werden für Zwecke der Spektralanalyse, aber nicht für gewöhnliche photographische Zwecke der Farbenphotographie benutzt. (Vgl. Eder, Über farbenempfindliche Platten zum Zwecke der Spektrumphotographie, Sitzber. d. kais. Akad. d. Wissenschaft. Wien II a, Bd. 124, S. 231. Photogr. Korrespondenz 1915, S. 271.)

Beifolgende Tabelle der Sensibilisierungskurven der im Vorstehenden besprochenen Farbensensibilisatoren geben ein übersichtliches Bild über die Steigerung der Farbenempfindlichkeit in den verschiedenen Spektralzonen. Die Buchstaben bedeuten die Fraunhoferschen Linien, die Zahlen die Wellenlängen des Lichtes (nach J. M. Eder).

Eingehender gibt nachfolgende Tabelle Eders Aufschluß über die spektrale Empfindlichkeit von Silberhaloiden im Sonnenspektrum unter Wirkung verschiedener Sensibilisatoren.

Ähnlich dem Sonnenspektrum (entsprechend der spektralen Energie-Verteilung) ist die Wirkung des weißglühenden Kraters des elektrischen Bogenlichtes; das Licht der Quecksilber-Quarzlampe und der Funkenspektren reicht viel weiter ins Ultraviolett, weil eben diese Lichtwellen in kurzwelligen Teilen viel größere Intensität besitzen. Selbstverständlich wird das Licht von Lichtquellen mit niedrigerer Farbtemperatur, wie das Azetylenlicht und das Licht der elektrischen Glühlampen, viel ärmer an Violett und Ultraviolett, so daß dort die Lichtwirkung viel früher als im Sonnenlicht nachläßt. — Immerhin geben die von Merle L. Dundon im Versuchs-Laboratorium der Eastman Kodak Co. in Rochester (Brit. Journ. Phot. 1926. S. 748; s. auch Phot. Rundschau 1927, Heft 2, Seite 33) hergestellten Spektren mit Azetylenlicht und Platten verschiedener Sensibilisierung interessante Ergebnisse.

Wir finden in Tafel V Abbildungen der Photographien (in größerem Ausmaß Abb. 87 und 88 im Texte) des prismatischen Spektrums mit einem vor dem Spalt des Spektralapparates eingeschalteten Graukeil, der die Maximalwirkung der Spektralzonen unmittelbar ersichtlich macht. Tafel IV. 1. zeigt das Verhalten ungefärbter Brom-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

5. Tabelle der spektralen Empfindlichkeit

von Silberhaloiden und von verschiedenen Sensibilisatoren auf Bromsilber im Sonnenspektrum (von J. M. Eder, Zeitschrift f. wissenschaftl. Photographie 1926).

Die Wellenlängen des Lichtes sind in $\mu\mu$ (Milliontelmillimeter) angegeben. Die Buchstaben bedeuten Fraunhofersche Linien des Sonnenspektrums.

	Empfindlichkeit bei kurzer Belichtung	Empfindlichkeit bei längerer Belichtung	Maximum der Empfindlichkeit	Depression der Wirkung
Bromsilber-Gelatineplatte	Beginn ungefähr bei 500 oder 480 im Hellblau, verlaufend ins Ultraviolett	Das Schwärzungsband rückt langsam u. schwach gegen Grün und Gelb vor, aber viel stärker gegen Blauviolett und Ultraviolett	Gewöhnlich 451. — Bei Bromsilber-Gelatine mit etwas größerem Jodsilbergehalt ungefähr bei 460	Es fehlt praktisch die Grün-Gelb- und Rotempfindlichkeit
Bromsilber-Kollodium	Beginn ungefähr bei 480 oder 450 im Indigoblau	Verhält sich ähnlich	Bei 430 in Indigoblau	Ebenso
Nasse Jodsilber-Kollodiumplatte mit Eisensulfat-Entwicklung	Beginn der Schwärzung kräftig bei 437	Die Schwärzung rückt fast nicht gegen Hellblau und Grün vor, sondern wächst nur gegen Ultraviolett	Bei 425—420	Es fehlt praktisch die Empfindlichkeit von der Grenze des Hellblau bis Rot
Chlorsilber mit chemischer Entwicklung	Beginn ungefähr bei 410	Das Schwärzungsband rückt schwach bis etwa 430 vor, dagegen kräftig ins Ultraviolett	Mit Glasapparaten und Sonnenlicht ca. 395 an der Grenze von Violett und Ultraviolett; mit Gitterspektrographen bei 355 im Ultraviolett	Praktisch unempfindlich gegen Blau bis Rot

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Dizyanin (grünblauer Farbstoff)	Etwas über die Fraunhofersche Linie a im Rot (725) bis Orangerot und weiter bis D ½ F (etwa 560)	Vom Beginn d. Infrarot bei 930 oder 880; kräftiges Band bei a (725) im Rot, über Orange, Gelb schwächer über 550 ins Gelbgrün verlaufend	1. Maximum 700—687 2. Maximum 623 (beide breit u. geschlossen)	Gelb, Grün, Blaugrün zwischen D und F
Pinachromblau (blauer Farbstoff)	Etwas nach a im Rot (710) über Orange bis D ½ E (etwa 560)	Beginn vor A (765) stark bei a ansteigend bis 565 im Rot, kräftig fortlaufend über Orange, Gelb bis ins Grün vor E (535)	1. Maximum 665 2. Maximum 590 (beide breit u. geschlossen)	Im Dunkelgrün und Blaugrün zwischen E und F
Pinachromviolett (in Alkohol mit blauer Farbe löslich, in Wasser violett)	Weniger weit im Rot als Pinachromblau oder Pinazyanol. — Wirkung beginnt bei B im Rot, geht über Orange und Gelb in einen Teil von Grün (D ½ E); also von 670 bis 560 oder 545	Beginn vor a bei 725 im Rot über Orange, Gelb und Grün vor E (etwa 535)	1. Maximum 650 2. Maximum 570 (ebenso)	Starke Depression im Dunkelgrün und Blaugrün zwischen E und F
Pinazyanol (blauer Farbstoff)	Ein wenig weiter ins Rot reichend als Pinachromviolett; Beginn vor B im Rot (etwa 688) über Orange bis Gelb, allmählich verlaufend im Grün bis etwa 550	Zwischen a und A (730) beginnend, breit u. stark verlaufend bis 527 oder 520 vor E	1. Maximum 655 2. Maximum 580 Beide breit und zusammenfließend	Starke Depression im Dunkelgrün und Blaugrün Spezieller Rot- u. Gelb-Sensibilisator

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tabelle der spektralen Empfindlichkeit (Fortsetzung).

Farbstoff	Sensibilisiert bei kurzer Belichtung	Sensibilisierungsband bei längerer Belichtung	Maximum der Sensibilisierung	Depression der Wirkung
Pinachrom (violetter Farbstoff)	Beginn hinter C im Orangerot (655 oder 650), kräftig bei 635 und breit und stark bis E im Grün (etwa bis 500) verlaufend	Etwas vor a im Rot (bei 720) beginnend, rasch ansteigend zwischen B und C (670), kräftig über Orange, Gelb u. Grün (527) sinkend bis E ½ F (500 oder 490)	1. Maximum 620—610 beiderseits breit verlaufend 2. Maximum 550—540 Ineinanderfließend	Geringe Depression in Blaugrün zwischen E und F, die bei längerer Belichtung sich ausgleicht. — Panchromatisch von Rot bis Ultraviolett
Pinaverdol (violettroter Farbstoff)	Beginn zwischen C und D (etwa 635), wird erst im Gelb bei D (590) sehr kräftig und verläuft in geschlossenem Band bis Blau. Füllt sehr gut die Lücke im Blaugrün aus	Beginn vor C (660), dann kräftig und kontinuierlich über Orange, Gelb, Grün, anschließend an Blau nach Violett	1. Maximum 580—570 2. Maximum 540—500 Fast kontinuierlich ineinander übergehend	Fast keine Depression in Blaugrün. Panchromatisch von Orange bis Ultraviolett. Besonders schleierlos
Pinaflavol (gelber basischer Farbstoff)	Breites Band von Gelb bei D (589) bis Grün (530), mit Anschluß an Blau und Violett. Spezieller Sensibilisator für Grün und Blaugrün	Beginn im Gelb oder Gelborange, kräftig geschlossen über Grün, Blau und Violett	Maximum 589—530. Breites Band anschließend an Blau	Geschlossen von Gelb über Grün und Blau ins Ultraviolett
Eosin (Tetra-Brom-fluoreszeinnatrium) (roter Farbstoff)	Band von 545—510 in Grün	Von 570 oder 560 bis etwa 485 in Grün	Maximum 542—540. Schmäleres Band	Starke Lücke in Blaugrün

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Erythrosin (Tetrajodfluoreszeinnatrium; roter Farbstoff m. Blaustich)	Band von 570—548 in Grün	Von 610 oder 600—540 von Gelb und Grün	Maximum 564—560. Ziemlich schroff gegen Gelb abfallend, langsam mit zweitem schwachen Maximum gegen Ende des Grün verlaufend	Lücke in Blaugrün, Minimum bei 502—495
Akridingelb von A. Leonhard (Chlorhydrat des Diamidodimethylakridins)	Breites Band völlig an Blau anschließend; kräftig bis 530, verlaufend gegen Gelb	Beginn im Gelbgrün, kräftig im Grün, geschlossen über Blau und Violett	526 bis Blau	Keine Depression, schleierlos
Rubrozyanin von Agfa-Berlin	Breites Band im Infrarot und Rot von 820—650 Beginn im Infrarot bei 820, Maximum im Infrarot bei 800—750; sekundäres Maximum bei 720, abklingend bis 650			Große Lücke der Empfindlichkeit von 650—550
Neozyanin (Eastman-Kodak)	Sensibilisiert für Rot und Infrarot bis über 1000 $\mu\mu$, mit dem Maximum bei 820 $\mu\mu$			

silbergelatine, 2. die Grünsensibilisierung des Akridin-Orange; 3. Erythrosin und Ammoniak; 4. Rhodamin B; 5. Pinaflavol; 6. Orthochrom T; 7. Pinaverdol; 8. Pinachrom; 9. Pinachromviolett; 10. Pantochrom; 11. Pinazyanol; 12. Naphtazyanol; 13. Dizyanin A; 14. Kryptozyanin und 15. Neozyanin. Die meisten dieser Farbstoffe wurden spektrographisch schon früher von Eder im prismatischen Spektrum im Sonnenlicht studiert und abgebildet (s. Tafel I. und II.) und weisen naturgemäß weiter ins Violett und Ultraviolett; einige neue Farbstoffe der Eastman Kodak Co. (Abb. 14 und 15) sind bemerkenswert.

Das Rubrozyanin der Agfa-Farbwerke in Berlin ist ein Sensibilisator für Dunkelrot, der weit ins Infrarot bis ungefähr 820 $\mu\mu$ reicht; Sensibilisierungs-Maximum zwischen 800 und 750 $\mu\mu$ im Infrarot bis Dunkelrot; ein sekundäres Maximum liegt bei 720 $\mu\mu$ und das Sensibilisierungsband klingt bis 650 ab. Ein breites Minimum (Empfindlichkeitslücke von 650 bis 550) trennt die Sensibilisierung von der Region der Blauempfindlichkeit des Bromsilbers (J. Eggert und W. Rahls „Handbuch der Physik“ Band XIX, 1928).

Kurt Jacobsohn (Phot. Indust. 1928. Heft 3) untersuchte eine Anzahl von Farbensensibilisatoren mit einem kleinen Gitterspektrographen mit dem Lichte einer Nernstlampe; vor dem Spalt des Spektrographen war ein Graukeil angebracht.

Es ergaben sich die in Tafel VI und Abb. 1 und 2 dargestellten Sensibilisierungsstreifen, die sich auf die Farbstoffe Pinazyanol, Pinaflavol, Pinachromviolett und Pinachrom erstrecken.

Benützt man Gaslicht (Argandbrenner) und noch dazu ein Spektroskop à vision directe, so kann das Violett ganz verschwinden. Diese Verhältnisse wurden bereits im 2. Band von Eders „Ausführlichem Handbuch der Photographie“ genau beschrieben und durch Abbildungen erläutert.

Für sehr exakte Versuche ist die Methode der Herstellung von Spektrographien im Konkavgitter-Spektrographen zu empfehlen, in schmalen knapp übereinander liegenden Streifen und in geometrischer Progression fortschreitender Belichtungszeit (s. Eder in seinem „System der Sensitometrie“; Sitzungsbericht der Akad. d. Wissenschaften Wien 1899 und Band III des „Ausführlichen Handbuches der Photographie“) bemerkenswert. Diese Methode zeigt den Weg der sog. „heterochromen Sensitometrie“.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

IV. Spektrometrische Prüfung von Sensibilisatoren mit Chlorsilbergelatine und Bromsilberkollodium.

Manche Farbstoffe wirken auf Bromsilbergelatine schwach, aber viel deutlicher in Kombination mit Chlorsilbergelatine und mit Kollodiumemulsion.

Dies trifft insbesondere bei Sensibilisatoren für Blau zu, bei denen das Sensibilisierungsmaximum mit der eigenen Blauempfindlichkeit zusammenfällt und im Blau überdeckt wird.

Dann leistet die Chlorsilbergelatineplatte, die in der Farbstofflösung gebadet wird, sehr gute Dienste, denn die Eigenempfindlichkeit der Chlorsilbergelatine ist im Blau und angrenzendem Violett gering und läßt die Sensibilisierung des Farbstoffes klar hervortreten.

So gelang es Eder mit Hilfe von Chlorsilberplatten die sensibilisierende Wirkung von Blutfarbstoffen sicher zu stellen (Sitzungsbericht d. Akademie d. Wissenschaften in Wien, 20. Februar 1913) und ebenso nützlich ist in manchen Fällen bei der Prüfung der sensibilisierenden Wirkung von Pflanzenfarbstoffen usw. sich der Bromsilberkollodiumplatten zu bedienen, welche durch Übergießen mit Farbenlösungen je nach der Natur des Farbstoffes mehr oder weniger charakteristische Sensibilisierungsmaxima ergeben und den Ausgangspunkt für eine Methode der Spektralanalyse bilden, worüber Eder in der Akademie d. Wissenschaften in Wien, 1915 (auch Eders Jahrbuch f. Photographie 1915/20, S. 199) berichtete. Auch wurde im II. Band, 2. Teil dieses Handbuches, Photographie mit dem Kollodiumverfahren, 3. Auflage 1927, S. 258 hierüber berichtet.

V. Typische Beispiele der Farbenempfindlichkeit einiger derzeit (1927) fabrizierter Gelatine-Trockenplatten.

Prüft man die in den Handel kommenden farbenempfindlichen Bromsilbergelatineplatten im Spektrographen, so kann man an der Hand der oben mitgeteilten Sensibilisierungsbänder bekannter Farbstoffe das Photomaterial klassifizieren und in mehrere gut definierte Gruppen teilen.

Orthochromatische Platten pflegt man Platten zu nennen, die außer der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers noch für Grün und Gelb sensibilisiert sind. (Typus Erythrosinplatte.) — Panchromatische Platten sind solche mit gesteigerter Empfindlichkeit für Grün, Gelb, Orange und mehr oder weniger weit ins Rot verlaufender Sensibilisierung.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Für telephotographische Zwecke verwendet man rotempfindliche Platten mit mangelnder Grünempfindlichkeit (Typus: Pinazyanol der Höchster Farbwerke oder Kryptozyanin oder Neozyanin der Eastman Kodak Co.).

Die Kenntnis der spektralen Farbenempfindlichkeit der üblichen Sorten von Bromsilbergelatineplatten ist für die Art der Durchführung der Sensitometrie von Wichtigkeit, weshalb wir einige dieser Typen von derzeitig im Handel befindlichen farbenempfindlichen Platten in Spektrogrammen demonstrieren, wo man die Sensibilisierungsart erkennt, wenn auch die verwendeten Farbstoffe vom Fabrikanten nicht ausdrücklich namhaft gemacht wurden.

In Tafel VII sind sechs derartige Typen dargestellt und zwar nach Aufnahmen der Trockenplattenfabrik O. Perutz in München (Direktor Dr. v. Oven) mit Plattenproben dieser Fabrik mit einem Gitterspektrographen und Glasoptik unter Benützung einer Osram-Nitra-Lampe 50 Watt mit 12 Volt Spannung. — Diese Aufnahmen können als typische Beispiele der gesamten Plattenfabrikation dienen und zwar:

Nr. 1. Gewöhnliche rapide Bromsilbergelatineplatte.

Nr. 2. Orthochromatische Platte mit Erythrosin (Roll-, Pack- und Kinofilm).

Nr. 3. Orthochromatische Platte mit gedämpfter Blauempfindlichkeit.

Nr. 4. Panchromatische Platte mit gesteigerter Grün-, Gelb-, und Orangerot-Empfindlichkeit, wie man sie mittels Äthylrot, Orthochrom, Pinaverdol oder dergleichen mit geringen Varianten erhält.

Nr. 5 und 6. Panchromatische Platte mit gesteigerter Grün-, Gelb-, Orange- und Rotempfindlichkeit, wie man sie mit Gemischen von Pinaverdol oder Äthylrot und Pinazyanol (eventuell nebst Chinolinrot) erhält oder mit Pinaverdol und Pinachromviolett.

In unserem Falle sind diese Plattensorten von Otto Perutz repräsentiert durch folgende Fabrikationsmarken:

Nr. 1. Perutz „Superrapid“.

Nr. 2. Perutz „Braunsiegel“ (Roll-, Pack- und Kinofilm).

Nr. 3. Perutz „Eosin“.

Nr. 4. Perutz „Chromo A“.

Nr. 5. Perutz „Chromo B“.

Nr. 6. Perutz „Panchromatische Rapidplatte“.

In ähnlicher Weise lassen sich alle Handelssorten von farbenempfindlichen Platten einteilen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VI. Verlauf der Empfindlichkeit photographischer Platten im Sonnenspektrum, berechnet auf die gleichmässige Verteilung der Energie in demselben.

Für gewöhnlich bezieht man die Farbenempfindlichkeit photographischer Platten auf das Sonnenlicht, wie es zur Mittagszeit eines klaren Sommertages zu uns gelangt. — Aber in diesem Spektrum ist die wahre Energie nicht gleichmäßig verteilt, was ja als allgemein bekannt vorausgesetzt werden kann (s. S. 334).

Es ist selbstverständlich, daß die relative Farbenempfindlichkeit einer photographischen Platte von der Verteilung der Energie des Lichtes in den einzelnen Spektralzonen abhängt. Bekanntlich ist die Verteilung der Energie des Sonnenlichtes im Spektrum eine andere als bei künstlichen Lichtquellen und niemals weisen die roten, gelben, grünen, blauen, violetten Strahlen usw. dieselbe absolute Energie auf (s. Kapitel XVI).

Am Pariser Kongreß für Photographie 1925 wurde erwähnt, daß die Angaben der Empfindlichkeitskurven je nach dem Beobachter und der angewandten Apparatur schwanken. Die ideale Lösung des Problems wäre es, alle Empfindlichkeitskurven auf die Form zurückzuführen, die sie in einem Spektrum konstanter Energie besäßen. Die Zurückführung der spektralen Empfindlichkeitskurven auf ein ideales Spektrum, dessen Lichtenergie an allen Stellen des Spektrums gleich groß ist, führten L. A. Jones und O. Sandvik im Eastman Kodak-Versuchs-Laboratorium aus (Journ. Optic. Soc. Americ. 1926, Bd. 12, S. 412) und teilten folgende Tabelle mit:

Wellenlänge des Lichtes	Empfindlichkeit auf gleiche Werte der Sonnen-Energie bezogen			
	Bromsilber-Gelatine		Orthochromatisch	Panchromatisch
	Eastman 33	Eastman 40		
300 $\mu\mu$	1,1	2,1	2,3	0,93
350 „	1,9	4,4	5,7	4.1
400 „	0,77	3,0	2,5	1,7
450 „	0,43	2,4	1,5	1,3
500 „	0,01	0,78	0,35	0,41
550 „	0,002	0,006	0,11	0,09
600 „	—	—	0,007	0,07
650 „	—	—	—	0,06
700 „	—	—	—	0,01

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Daraus geht hervor, daß die maximale Wellenlängen-Empfindlichkeit bei Anwendung von Quarzoptik für Bromsilber im Ultraviolett unter den gegebenen Voraussetzungen bei der Wellenlänge 3500 A. E. liegt.

Auch G. R. Harrison hatte bei ähnlich angeordneten Versuchen mit einer Quecksilberquarzlampe das Maximum der Empfindlichkeit bei gleicher Energie im Ultraviolett gefunden (Journ. Optic. Soc. Amer. Okt. 1925, S. 341). Aber unter den in der praktischen Photographie mit Sonnenlicht und künstlichen Lichtquellen obwaltenden Verhältnissen tritt die Maximalwirkung weiter gegen die längeren Wellenlängen im Blau auf und deshalb gelten auch in der praktischen Sensitometrie die auf S. 238 angegebenen Maxima der spektralen photographischen Empfindlichkeit.

Werner Leszynski untersuchte die photogr. Empfindlichkeit von Bromsilbergelatineplatten für blaues und grünes Licht, in absolutem Maß gemessen. Er arbeitete mit Lichtfiltern. Die Energien wurden mit einer Rubensschen Thermosäule gemessen und auf die Energie der Hefnerkerzen bezogen. Die Energie wurde durch die pro 1 qcm aufgesandten Quanten angegeben. Setzt man die Blauempfindlichkeit der unsensibilisierten Platte = 1, so ergab sich eine 60 fache Steigerung der Grünempfindlichkeit durch Erythrosin und eine etwa 400 fache Steigerung der Rotempfindlichkeit durch Pinachromviolett. — Die Anzahl der entstandenen Ag-Atome soll nach der Ansicht Leszynskis viel größer sein als die Zahl der insgesamt vorhandenen Farbstoffmolekel, die die Sensibilisierung bewirken. — Der Farbstoff ist an der Oberfläche des Bromsilberkornes adsorbiert und besorgt den primären Absorptionsvorgang, wodurch bewirkt wird, daß ein Elektron von einem Br-Ion zu einem Ag-Ion übergeht. Das primär ausgeschiedene Silber besitzt bei Blau- und Grünbelichtung die gleiche Verteilung zwischen Oberfläche und dem Inneren des Kornes. (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1926.)

U. Schmieschek konstruierte einen Apparat, den er „Energie-Nivellierer" nennt; er liefert spektral zerlegtes Licht gleicher Intensität über einen beliebigen Spektralbereich (z. B. 400—800) und besteht im wesentlichen aus einem Abklatschgitter, das ein kontinuerliches Spektrum auf die photographische Platte entwirft; unmittelbar vor derselben befindet sich eine rotierende Scheibe, welche durch entsprechende Ausschnitte die Helligkeit der Spektralzonen so reguliert, daß die Lichtmengen an allen Stellen des Spektrums gleich groß sind. — Photographische Industrie 1928, S. 1086 m. Abb. — L. Kutzleb prüfte zahlreiche Plattensorten damit (Kinotechnik, 1929, S. 328).

VII. Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge (Farbe) des Lichtes[1]).

Belichtet man photographische Platten mit den verschiedenen Zonen des farbigen und ultravioletten Spektrums mit progressiver Exposition, so können zwei Fälle eintreten:

1. Die Zunahme der Schwärzung der photographischen Platte erfolgt für Licht jedweder Wellen-

1) Nach einer Abhandlung von J. M. Eder in „Photogr. Industrie" Heft 24, 25 und 26, 1928 im Wortlaute übernommen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

länge (für alle Farbenbezirke) gleichartig, d. h. die Gradation ist überall dieselbe, das Gamma gleich groß und somit unabhängig von der Wellenlänge.

In der Tat trifft dies in manchen speziellen Fällen und innerhalb einer gewissen Fehlerweite annähernd zu und wurde irrtümlich mitunter als eine allgemein gültige Regel angenommen.

2. Es zeigt sich, daß die Gradation der photographischen Negative von der Wellenlänge abhängt. — Diese letztere von Eder 1899 aufgestellte Regel erweist sich für Bromsilbergelatineplatten als allgemein gültig und schließt den sub 1) angegebenen Fall für spezielle Plattensorten ein, in denen sich die Gradationskurven so sehr nähern, daß sie praktisch als gleichartig angesehen werden können.

Diese Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge des wirkenden Lichtes kann man in deutlicheren Fällen mitunter schon beim praktischen Arbeiten hinter farbigen Lichtfiltern (orthochromatische Photographie, Dreifarbendruck), in der angewandten Phototechnik beobachten. — Der exakte wissenschaftliche Beweis für diese Abhängigkeit ist durch Versuche im monochromen Lichte am besten im Spektrum mittels Konkavgittern und konstanten Lichtquellen zu erbringen, wie Eder dies durch seine im Jahre 1899 zuerst veröffentlichten Arbeiten nachwies[1]).

Er arbeitete mit großer Genauigkeit unter Benutzung eines Rowlandschen Konkav-Gitters von 73 cm Fokus und mit photographischen Platten auf Spiegelglas, die in die Brennfläche gebogen waren und exakte Ausmessung der Schwärzungen mit dem Hartmannschen Mikro-Photometer gestatteten.

Durch diese Untersuchungen kam Eder zu Schlußfolgerungen, die im folgenden Hauptsatze ihren Ausdruck fanden: Streng genommen hat jede photographische Platte eine besondere Schwärzungskurve (charakteristische Kurve) für die einzelnen Strahlen verschiedener Wellenlängen und wahrscheinlich ist auch der Wert für den Schwarzschildschen Exponenten p in dem Schwarzschildschen Schwärzungsgesetz $J.t^p$ in ähnlicher Weise variabel.

Weiter teilte er damals mit, daß die Lichtstrahlen in der Nähe der spektralen Maximal-Wirkung bei Bromsilber-Gelatine bald aus

---

1) Eder, System der Sensitometrie, Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, November 1899, Bd. 108. Auch Eder, „Handbuch der Photographie", Bd. III, 5. Auflage, 1903, S. 207, und Eder und Valenta, „Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse".

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

der Periode der photographischen Unterexposition in jene der normalen Exposition übergeht, während die farbigen Lichtstrahlen geringerer Wirksamkeit nur schwierig den Anstieg der Schwärzung in das Gebiet der normalen Exposition herbeiführen.

Mitunter bleibt die Gradation nächst dem Schwellenwert farbenempfindlicher Platten in der Zone geringer Farbenempfindlichkeit unverhältnismäßig lang in der Periode der Unterexposition, dann aber kann die Schwärzungskurve rasch ansteigen; alle diese Verhältnisse gehören zu der individuellen Charakteristik verschiedener Emulsionen, und es ist kaum möglich, für diese Einzelheiten allgemein gültige Regeln aufzustellen, die für alle Farbensensibilisierungen gelten.

Die allgemeine Richtigkeit des von Eder 1899 aufgestellten Hauptsatzes über den Zusammenhang der Gradation mit der Wellenlänge des wirkendes Lichtes (s. o. sub 2) kam allerdings erst viele Jahre später zur Geltung, weil ungenaue Versuche und irrige Angaben von anderer Seite die richtige Erkenntnis getrübt hatten. Zunächst übersahen die Experimentatoren den wahren Verlauf der Gradationskurven im Spektrum deshalb, weil sie teils Spektrographen mit zu geringer Dispersion verwendeten, teils nicht mit den exakten Schwärzungs-Meßinstrumenten arbeiteten und deshalb die feineren Einzelheiten der Vorgänge nicht erkennen konnten, so daß Eder erst viele Jahre später die Genugtuung hatte, daß seine Angaben bestätigt wurden, zuletzt durch Thorne Baker und W. A. Balmain in ihrer 1926 erfolgten Publikation.

Die blauempfindlichen Bromsilber-Gelatine-Platten, orthochromatische und panchromatische Emulsionen zeigen häufig in der Zone ihrer breiten, maximalen Blauempfindlichkeit oder innerhalb der kräftigen Sensibilisierungsbänder eine annähernd konstante Gradation und diese Zonen der effektiven Empfindlichkeit sind in der praktischen Photographie und Photometrie so sehr ausschlaggebend, daß die Zonen geringer Empfindlichkeit und anormaler Gradation nicht deutlich zur Geltung kommen.

Häufig aber ist bei kräftigen Sensibilisierungen, z. B. für Grün und Gelb, die Gradation daselbst merklich steiler (kontrastreicher) als in dem zweiten Maximum im Blau. Es gibt aber auch orthochromatische Platten, bei denen das Gamma in Grün und Gelb merklich kleiner als im blauen Spektralbezirk ist, und es ist nicht verwunderlich, wenn auch orthochromatische Platten im

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Handel vorkommen, deren Verhalten in der Mitte steht und nahezu gleiche Gradation in Grün und Blau zeigen.

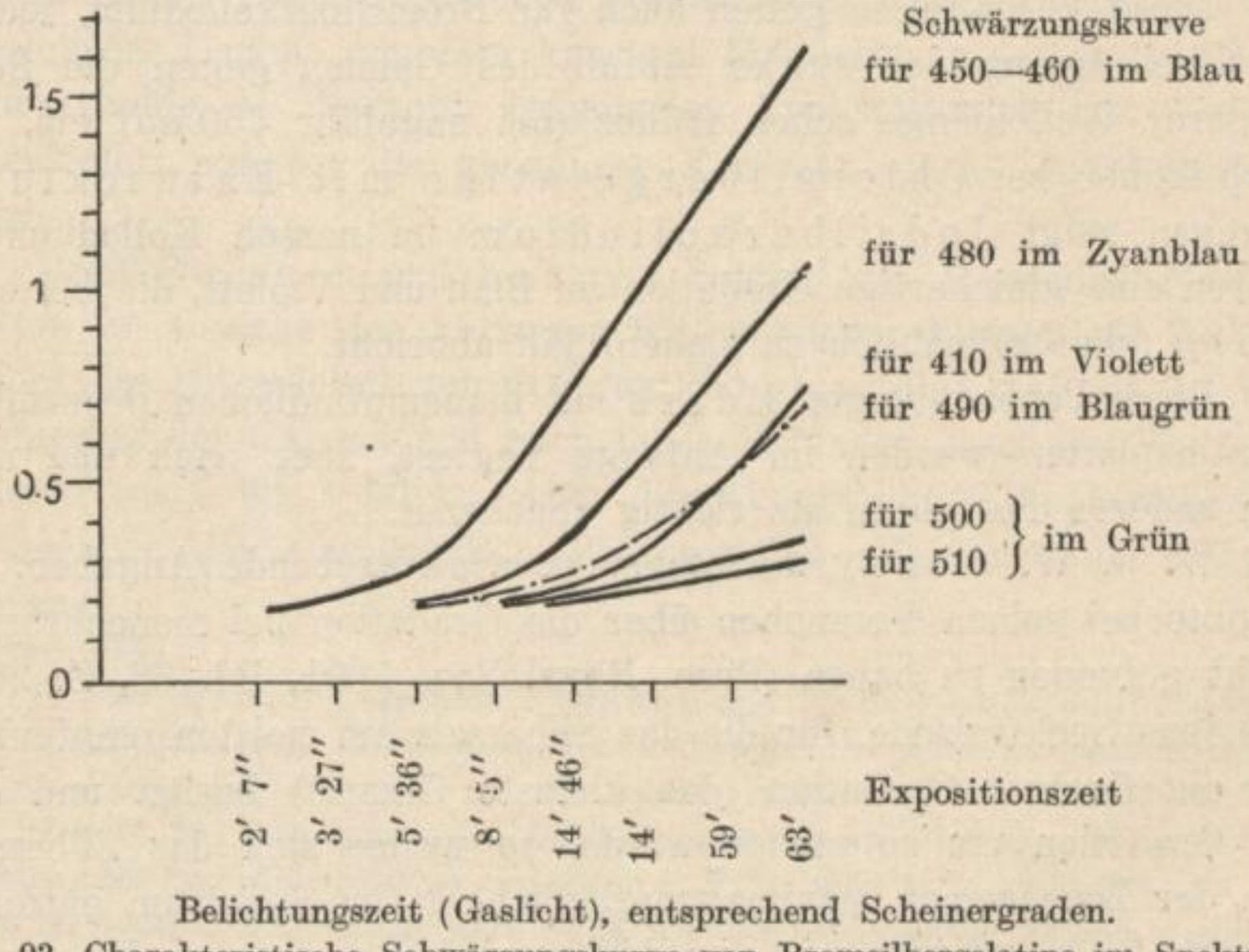
Ebenso gibt es panchromatische Platten, die im roten und orangefarbigen Licht ein größeres Gamma aufweisen als im Blau, was bei anderen Sensibilisierungsarten nicht auftritt.

Man muß deshalb sorgsam die Qualität der Emulsion berücksichtigen und darf sich auf die Untersuchung nicht näher bestimmter Handelssorten nicht beschränken; diese können an und für sich sehr interessant sein, führen aber schwerlich zu allgemein gültigen Schlußfolgerungen.

VIII. Besprechung des besonderen Verhaltens verschiedener Emulsionssorten.

I. Gewöhnliche blauempfindliche Bromsilbergelatineplatten, Jod- und Chlorsilberplatten.

Der Zusammenhang von Gradation und Wellenlänge für gewöhnliche blauempfindliche Bromsilber-Gelatine-Platten gestaltet sich ziemlich einfach.



Belichtungszeit (Gaslicht), entsprechend Scheinergraden.

Abb. 93. Charakteristische Schwärzungskurve von Bromsilbergelatine im Spektrum bei verschiedener Wellenlänge (Eder).

Wie aus Eders in Abb. 93 dargestellten Untersuchungsresultaten mit monochromem Spektrallicht (Konkavgitter, Argand-Gas-

brenner) hervorgeht (siehe Sitzgsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien 1899), zeigen alle Strahlen größter Wirksamkeit für Bromsilber-Gelatine im Blau eine annähernd gleichartige Gradation, während die Strahlen der blaugrünen Spektralzone dort, wo die Empfindlichkeit des Bromsilbers allmählich zu Ende geht (500 oder 510 $\mu\mu$), das Gamma beträchtlich verkleinern. — Für diese Versuche bediente er sich einer Bromsilber-Emulsion, die mittels Silbernitrat-Ammoniak und mit mittlerer Empfindlichkeit hergestellt worden war.

Man ersieht aus Abb. 1 die annähernd gleichartige Gradation der blauen und violetten Strahlen und das kleinere Gamma der Strahlen bei 500 und 510 $\mu\mu$ (Eder, 1899).

Es ist für die praktische Durchführung photographisch-photometrischer Untersuchungen sehr günstig, daß diese Strahlen, die so mangelhafte und von der Norm stark abweichende Gradation besitzen, gegenüber den Strahlen der normalen Hauptwirkung in der praktischen Photographie so sehr zurücktreten, so daß sie kaum wirkend werden. — Trotzdem muß man in der wissenschaftlichen Photometrie davon Kenntnis nehmen.

Diese Verhältnisse gelten auch für Bromsilberkollodium, jedoch tritt bei diesem der starke Abfall des Gamma gegen die Seite längerer Wellenlänge schon früher (bei ungefähr 450 $\mu\mu$) ein, und noch früher bei Chlorsilbergelatine mit Entwicklung; dagegen zeigt Jodsilberkollodium im nassen Kollodiumverfahren eine gleichartige Gradation im Blau und Violett, die bei etwa 435 $\mu\mu$ (ohne allmählich zu sinken) jäh abbricht.

Diese Beobachtungen Eders mit blauempfindlichen Bromsilbergelatineplatten wurden im Anfange negiert, aber nach und nach von anderen Forschern als richtig anerkannt.

W. d. W. Abney machte stark widerstrebende Angaben. Er glaubte bei seinen Versuchen über die Gradation bei monochromem Licht gefunden zu haben (Proc. Royal Soc. 1901, Bd. 68, S. 200), daß jene Spektralzone, für die das Silbersalz am meisten empfindlich ist, die flachste Gradation (das kleinste Gamma) besitzt und daß die Gradation um so steiler werde, je weiter sich das Silbersalz von der Zone seiner Maximalempfindlichkeit im Spektrum entferne. Diese Behauptung ist in dieser allgemeinen Fassung unrichtig. — Leimbach hat die Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge überhaupt geleugnet und er meinte, daß die Gradation für alle Wellenlängen gleichmäßig verlaufe (Annal. der Physik, 1911, IV. Folge Bd. 36, Seite 198). Der Fehlver-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

such Leimbachs dürfte daraus zu erklären sein, daß er allzu kurz mit einem nicht besonders kräftigen Entwickler entwickelte, und bei kurzer Entwicklungsdauer kommen die Gradationsunterschiede nicht hervor, erst bei längerer Entwicklung, z. B. mit Pyrogallol-Soda-Entwickler (bis 10 Minuten).

Auf dem Pariser Photographischen Kongreß im Jahre 1925, auf dem viele Fragen der Sensitometrie und photographischen Photometrie behandelt worden waren, beschränkte man sich auf die Besprechung einiger derzeit im Handel befindlichen Plattenfabrikate und überging die kleinen Schwankungen im sichtbaren Spektrum bei Bromsilbergelatine.

Charles Fabry vertrat in seinem Referat auf dem 6. Internationalen Kongreß in Paris 1925 (Rapport, 1926, S. 79) auf Grund seiner in Gemeinschaft mit Buisson unternommenen Versuche über „Les lois du noircissements des plaques photographiques“ (Revue d'Optique, 1. Januar 1924, Bd. 3, S. 1) die Ansicht, daß der Effekt von Strahlen verschiedener Wellenlänge auf Bromsilber im sichtbaren Teil des Spektrums und im Beginn des Ultraviolett sich annähernd gleich in den photographischen Schwärzungsgesetzen verhalten und speziell das Gamma ungefähr konstant für diesen in der angewandten Photographie in Betracht kommenden Spektralbezirk ist; erst im Ultraviolett nahmen die genannten Forscher starke Schwankungen wahr.

Nach Buisson und Fabry[1]) zeigen sich Bromsilbergelatineplatten im Bezirke der kürzeren Wellenlängen (kleiner als 350 $\mu\mu$) anders; im Ultraviolett von 400 bis 250 $\mu\mu$ erfolgt eine starke Verkleinerung des Gamma und nach ihren Befunden kann der Wert von Gamma von 3 bis 1 fallen. Aber diese kurzwelligen Spektralbezirke kommen in der angewandten Photographie mit Glasoptik nicht in Betracht.

---

1) Diese Mitteilung brachten Buisson und Fabry am 6. Juli 1924 in der Pariser Physikalischen Gesellschaft vor und publizierten sie ausführlich in der „Revue d'Optique“, 1924, Nr. 1; auch Science et Indust. Phot. 1926, 1923, S. 87 und 1924, S. 33. Die genannten Physiker nahmen an, daß die Gradation (das Gamma) bei Bromsilbergelatine von 5460 A. E. bis 4046 A. E. gleichartig sei und dann im äußeren Ultraviolett stark sinkt, wie ihre nachstehende Tabelle angibt:

Wellenlänge in A. E	Gamma	Wellenlänge in A. E	Gamma
4358	2,90	3130	1,10
4046	2,90	2967	1,00
3660	2,10	2536	0,90
3341	1,40		

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Über das charakteristische Verhalten von verschiedenen photographischen Platten gegen Ultraviolett (gewöhnliche Bromsilberplatten, Schumannplatten von Hilger, London, usw. s. S. 231) arbeitete auch G. R. Harrison (Journ. Opt. Soc. Amer. Oktober 1925, Bd. 11, S. 341; Science et Indust. Phot., Januar 1926).

Von dem von Eder beobachteten merklichen Sinken des Gamma in der Spektralzone der stark abfallenden Empfindlichkeit des Bromsilbers in Grün sagt Fabry nichts.

Aber seine Angaben hatten mittlerweile von anderer Seite, von dem Astronomen der Wiener Universitätssternwarte, Adolf Hnatek, im Jahre 1916 im allgemeinen Bestätigung gefunden (Zeitschr. f. wissensch. Photogr., 1916, Bd. 15, S. 271). Dieser arbeitete allerdings nicht mit monochromem Spektrallicht, sondern stellte sich ein künstliches Spektrum mit sorgfältig abgestimmten Lichtfiltern und einem geeichten Röhrensensitometer her.

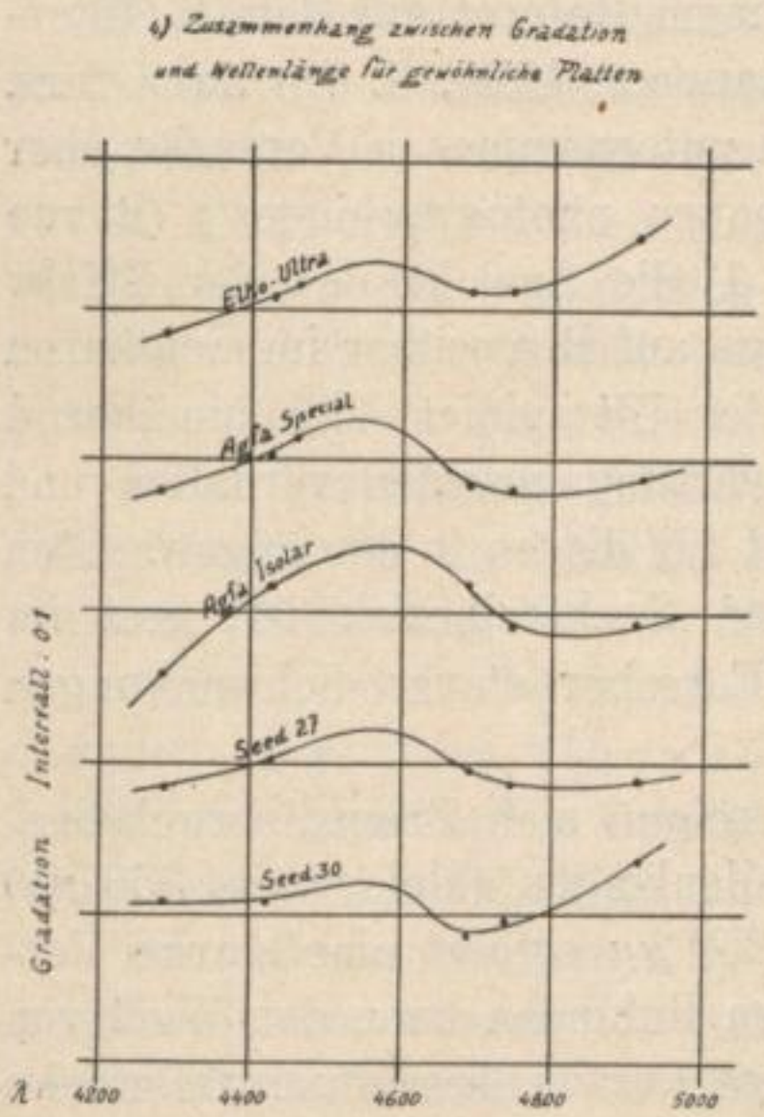


Abb. 94. Hnateks Kurven über den Zusammenhang von Gradation und Wellenlänge bei gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten.

Adolf Hnatek[1]) arbeitete mit einer 50kerzigen Metallfadenlampe und auf die mittlere Schwärzung 0,6. — Den Zusammenhang von Gradation und Wellenlänge gibt Hnatek in Abb. 94 wieder.

Diese Abbildung zeigt das Verhalten von fünf verschiedenen Handelssorten von Bromsilberplatten und die starke Verminderung des Gamma in Blaugrün im Sinne von Eders Angaben. Bei sehr starker Belichtung beobachtete Hnatek einen stärkeren Anstieg im längerwelligen Lichte; dieser Spektralbezirk ist allerdings in der praktischen Photographie nicht effektiv.

Ähnliches fanden Loyd A. Jones und Vincent Hall (Journ. Optic. Soc. Americ. 1926, Bd. 13, S. 458). Sie erhielten auf einer gewöhnlichen blauempfindlichen Bromsilbergelatineplatte hinter einer Rotscheibe mit sehr großen Lichtmengen von 320 S. M. K. und 31 Min. langer Entwicklung deutliche Schwärzungen, die eine Gra-

1) A. Hnatek, Die Abhängigkeit der Gradation der Bromsilber-Gelatine von der Wellenlänge (Zeitschr. f. wiss. Phot., Bd. 15, S. 271).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

dation mit übermäßiger Steigung aufweisen können, wonach bei einer gewissen Grenze aber die Gradation völlig verflacht. Dabei macht sich ein Einfluß des Intensitätsfaktors bemerklich (bei gleichem Produkte von i × t).

Die Versuchsanordnung Hnateks umfaßt das sichtbare Spektrum von 420 $\mu\mu$ angefangen und es ergibt sich, daß für gewöhnliche Bromsilber-Gelatine-Platten in diesem, für die praktische Photographie ausschlaggebenden Gebiete die Gradation nur wenig Abweichungen zeigt; sie ist allerdings für verschiedene Wellenlängen nicht konstant, kann aber für praktische, sensitometrische Zwecke als genügend konstant angesehen werden. — Bei Berücksichtigung der Einzelheiten fand Hnatek, daß die Gradation, aus dem ultravioletten Teil des Spektrums herauskommend, zunächst ansteigt bis zum Schwärzungsmaximum in Blau (450 bis 460 $\mu\mu$, dann bei etwa 490 (dort, wo die Empfindlichkeit der Platte nachzulassen beginnt) ein sekundäres Minimum erreicht, aber in dem Gebiete der sehr geringen Empfindlichkeit bis 520 $\mu\mu$ wieder ansteigt. — Im Gebiete der normalen Exposition soll nach Hnatek der Zusammenhang von Wellenlänge und Gradation unabhängig von der Lichtintensität und dem Schwärzungsgrade der Platte sein.

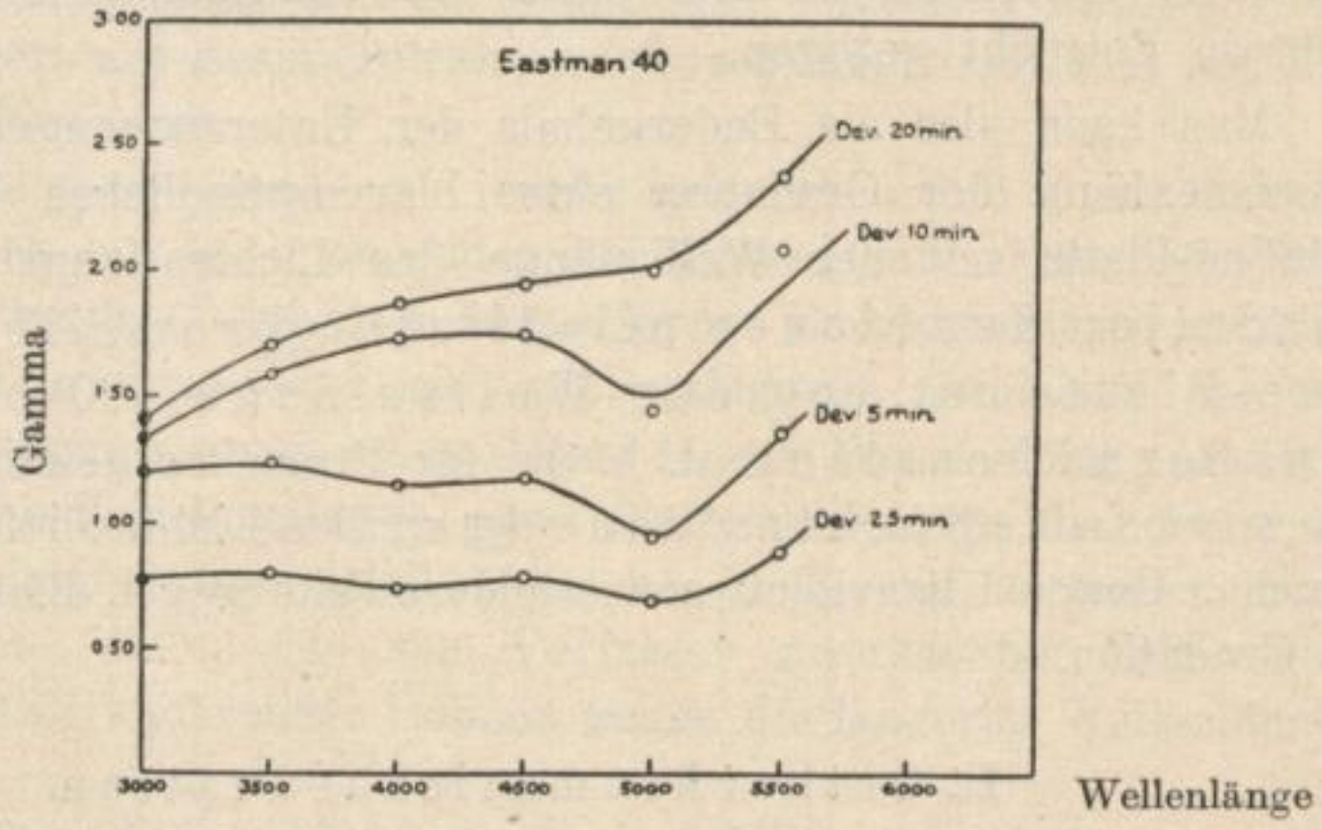


Abb. 95. Kurven des Kontrastes (Gamma) einer Bromsilbergelatineplatte bei verschiedener Wellenlänge im Spektrum und verschieden langer Entwicklung von Jones und Sandvik.

In neuerer Zeit fand auch Harrison (Journ. Optic. Soc. Americ. 1925), daß die Veränderlichkeit des Gamma mit der Wellenlänge des wirkenden Lichtes eng zusammenhängt und wenig empfindliche sogenannte photomechanische Platten gaben eine starke Variation des Gamma gegen Ultraviolett, während Platten von hoher Empfindlichkeit eine geringe Variation zeigten.

Die Abhängigkeit der Kontraste (Gamma) von der Wellenlänge wird mehr oder weniger von der Entwicklungsdauer beeinflußt. Abb. 95 zeigt die von Jones und Sandvik gefundenen Ent-

wicklungs-Zeit-Kurven für eine blauempfindliche Bromsilber-Gelatine der Eastman Kodak Co.

Eine weitere Bestätigung der Angaben Eders über die Abhängigkeit der Gradation von der Wellenlänge findet sich in der Abhandlung von Frank E. Ross über photographische Photometrie (Astrophysical Journ. 1920, Bd. 52, S. 86), der Eders frühere Publikationen nicht gekannt zu haben scheint und sie nicht erwähnt; er faßte die Versuchsergebnisse in einer Form zusammen, die Eders obige Thesen bestätigen. Ross fand für gewöhnliche blauempfindliche Bromsilbergelatine den größten Wert des Gamma bei der Wellenlänge 400 $\mu\mu$ gleichbleibend bis etwa von 420 bis etwa 490 $\mu\mu$ und beobachtete ein Sinken von 490 bis 520 $\mu\mu$.

Der von Eder oben erwähnte Befund des abweichenden Verhaltens verschiedener Silberhaloidschichten (Bromsilber im Kollodium, Jodsilber, Chlorsilber) wurde bisher von anderer Seite überhaupt nicht in Betracht gezogen.

Man kann also als Endergebnis der Untersuchungen über den Zusammenhang der Gradation einer blauempfindlichen Bromsilber-Gelatine-Platte mit der Wellenlänge des Lichtes annehmen: Die Gradation der blauempfindlichen Bromsilber-Gelatine-Platte ist von der Wellenlänge 400 bis 500 $\mu\mu$ annähernd konstant, d. h. die für Bromsilbergelatine effektiv wirksame Spektralzone des weißen Lichtes liefert gleiches Gamma. Gegen Ultraviolett sowie andererseits gegen Blaugrün sinkt die Gradation.

II. Orthochromatische Platten.

Abhängigkeit des Gamma von der Wellenlänge und Eignung zur Messung der visuellen Helligkeit.

Orthochromatische Platten werden derzeit stets mit Erythrosin (Tetrajodfluoreszeinnatrium) sensibilisiert und weisen ein starkes Sensibilisierungsband von Grün bis Gelb auf; daneben ist mehr oder weniger gut die eigene Blauempfindlichkeit des Bromsilbers erhalten und beide sind bei dieser Type von Platten durch eine Stelle der mehr oder weniger starken Depression in Blaugrün (bei etwa 495 bis 502 $\mu\mu$) getrennt.

In allen derartigen Fällen kommt, genau genommen, dem blauempfindlichen Bromsilber in der Spektralzone von Blau und Violett seine eigene Gradation zu, während die Gradation im sensibilisierten

Teile (im obigen Falle in Grün) bald steiler ansteigt, bald geringer ist, aber auch gleichartig mit der Gradation in Blau sein kann.

In der obenerwähnten Abhandlung (1899 und 1900) veröffentlichte Eder seine spektralphotometrischen Messungen und die Gradationskurven einerseits in Blau und andererseits in Grün. — Bei Erythrosinplatten war die Gradation in der Zone der starken Farbensensibilisierung (540 bis 580 $\mu\mu$) unter sich annähernd konstant und lief auch den Zonen der Maximalempfindlichkeit in Blau annähernd parallel, sank jedoch ein wenig im Violett. In der Zone der Depression in Blaugrün sank der Wert für Gamma in der Periode der Unterexposition, erreichte aber bei stärkerer Belichtung und kräftiger Entwicklung das Gamma der Blauempfindlichkeit.

Das Gradationsverhältnis in Grün und in Blau hängt von der Stärke und Art der Sensibilisierung ab. (Erythrosin in neutraler Lösung. Erythrosin mit Ammoniak, Baden der Platte mit einem Vorbad von Ammoniak und nachträglichem neutralen Farbbad.) Sie ist auch anders mit Eosin (Tetrabromfluoreszeinnatrium) oder mit dem basischen Chinolinrot.

Im allgemeinen kann man jedoch behaupten, daß a) die meisten derzeit in den Handel kommenden kräftig sensibilisierten orthochromatischen Platten (Erythrosinplatten in der Emulsionsmasse gefärbt) in der grünen Zone eine rascher ansteigende Gradation bei genügender Belichtung und entsprechend langer Entwicklung aufweisen als in Blau; jedoch kommen b) auch Plattensorten vor, bei denen die Gradation einigermaßen gleichartig ist, z. B. die normalen Kino-Negativ-Filme, die in den vom Verfasser untersuchten Fällen kein oder ein mäßig wachsendes Gamma gegen die längeren Wellenlängen zeigen.

Man kann die ziemlich allgemein gültige Regel für die derzeitigen Handelssorten von kräftig sensibilisierten orthochromatischen Erythrosin-Platten aussprechen, daß ihre Gradation hinter einem strengen Gelbfilter steiler ansteigt als im blauen Farbbezirke. — Dies führt naturgemäß zu der Konsequenz, daß bei längerer Belichtung oder größerer Lichtintensität die Grüngelbwirkung (Dichte des Negatives) um so mehr gegenüber dem Effekt des Blau anwächst, je größer die Exposition ist. — In der photographischen Praxis sagte man seit langer Zeit dasselbe mit anderen Worten: „Die Ortho-Wirkung der gebräuchlichen orthochromatischen Platten kommt bei kurzer Expositon verhältnismäßig wenig zur Geltung und tritt erst bei reichlicher Belichtung kräftig und überragend hervor.“

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Es gibt aber andere Arten von grüngelbempfindlichen Platten, die man auch als „orthochromatisch“ ansprechen kann, wenn sie auch in der Photo-Industrie nicht erzeugt werden, weil ihre Orthochromasie nicht jene der Erythrosin-Platten erreicht. Hierher gehören die mit Kongorot sensibilisierten Platten, deren Gradation im Grün in der Regel kleiner ist als im Blau.

Diese Beobachtung teilte Eder im Jahre 1899 in der oben zitierten Abhandlung mit, samt den dazu gehörigen Messungen und graphischen Darstellungen.

Es kann also die Gradation orthochromatischer Platten je nach ihrer Präparationsart im Grün steiler ansteigen als im Blau, bald kann das Umgekehrte stattfinden und es gibt auch orthochromatische Platten mittleren Verhaltens.

Diesen letztgenannten Fall fand Eder mehrfach mit neueren anderen Sensibilisatoren vor.

Die spektrometrische Prüfung zeigte, daß die mit dem Pinaflavol der Farbwerke in Höchst am Main, vormals Meister Lucius & Brüning, im Badeverfahren hergestellten grün- und gelbempfindlichen Platten einen sehr regelmäßigen Gradationsverlauf für verschiedene Wellenlängen zeigen, denn es fehlt bei ihnen die Depression im Blaugrün, die bei den Eosin-Farbstoffen zu auffällig ist. — Pinaflavolplatten lassen sich sehr gut mit Pyrogallol und Soda in Kombination mit einem Vorbad des Desensibilisators Pinakryptolgrün (Farbwerke Höchst a. Main) entwickeln. — Auch das Akridinorange von Leonhard (erhältlich in der Farben-Industrie-Aktiengesellschaft, Werk Mainkur, Leopold Casella in Frankfurt a. Main) verlängert die Zone der normalen Gradation von Bromsilber-Gelatine-Platten sowie von Bromsilber-Kollodium weit ins Grün hinein; es verhält sich ähnlich.

A. Hnatek stellte 1916 mehrfach Versuche mit orthochromatischen Platten des Handels (Typus Erythrosin) an, die sich selbstverständlich recht verschieden verhielten; er folgerte aus seinen Versuchen, daß im allgemeinen an jenen Stellen des Spektrums, die infolge der Sensibilisierung eine der Blauempfindlichkeit äquivalente Empfindlichkeit annehmen, auch der Verlauf der Gradation im Blau gleichartig ist. Dies ist jedoch wohl nicht allgemein gültig [1]).

---

1) A. Hnatek (Zeitschr. f. wissenschaftliche Photographie, 1916, Bd. 15, S. 71), teilt folgende Einzelheiten seiner Versuche mit diversen Erythrosin-Platten mit:

Während die an gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten gefundenen Unter-

Panchromatische Platten.

Panchromatische Platten nennt man solche, die für Grün, Gelb und Rot sensibilisiert sind; sie gewinnen für die angewandte Photographie steigende Bedeutung. — Ihre Herstellungsweise ist verschiedenartig.

Sie enthalten z. B. Pinachrom, Pinaverdol, Äthylrot, hier und da Chinolinrot und zur Herbeiführung der Rotempfindlichkeit Pinazyanol, Pinachromviolett usw. usw. Die Farbstoffe und ihre Mischungen sind mannigfache.

Die Wirkungsweise und chemische Zusammensetzung derselben sind in der 12. Auflage von Eder, „Rezepte, Tabellen und Arbeitsvorschriften für Photographie, 1927“ (W. Knapp in Halle, Seite 321) angeführt. Die wichtigsten derselben hat Eder in bezug auf den Verlauf der Gradation in Zonen verschiedener Wellenlängen untersucht. Die spektrosensitometrische Untersuchung ergab, daß farbenempfindliche Platten, die mit Pinaverdol, Orthochrom, Äthylrot und Pinachrom hergestellt waren (Badeverfahren) und nahezu keine Depression im Blaugrün aufwiesen, von Blau bis Orangerot ein ziemlich konstantes Gamma hatten, mitunter etwas gegen Rotorange ansteigen [1]). — Wenn man die Rotempfindlichkeit dieser Sensibilisatoren durch Zusatz von Pinazyanol erhöht, so treten sehr merkliche Unregelmäßigkeiten des Gradationsverlaufes bei verschiedenen Wellenlängen auf, weil das Pinazyanol im Rot und Orange besonders kräftig wirkt und demzufolge das Gamma gegen Rot zu stark wächst.

---

schiede der verschiedenen Wellenlängen zukommenden Gradation nur geringe sind, steigt bei orthochromatischen Platten an jener Stelle in Grün, wo die Grünempfindlichkeit stark ansteigt, eine stark wachsende Gradation (Gamma), die bis zum Sensibilisierungs-Maximum steigt und dann mit Sinken der Sensibilisierung (bei 560 bis 570) abfällt und den normalen Mittelwert des Gamma vom blauen Teil des Spektrums wieder erreicht; weiter im Orange (von 580 ab) in der Zone der sehr geringen Empfindlichkeit fand Hnatek wieder eine Steigerung des Gamma. — Hnatek benutzte verschiedene Handelssorten orthochromatischer Platten, deren Herstellungsart nicht näher angegeben ist — man beachte, daß manche orthochromatische Platten mit reinem Erythrosin gefärbt sind, andere Sorten einen Zusatz von gelben Farbstoffen enthalten, um die Blauwirkung zu dämpfen, was allerlei Komplikationen und Abweichungen in der Sensitometrie mit sich bringt.

1) Bei Äthylrot-Platten findet man das „Gamma“ hinter dem Blau-Filter kleiner als hinter dem Grün- und Rot-Filter, was namentlich bei längerer Entwicklung hervortritt, wie Precht und Stenger fanden (Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 1905, Band III, S. 67).

Ähnlich verhalten sich Mischungen von Äthylzyanin und Erythrosin, die das Empfindlichkeitsband in drei Teile gewissermaßen zerreißen, so daß drei Maxima und zwei Minima im sichtbaren Spektrum auftauchen; solche Platten sind praktisch nicht viel wert. Dagegen bewirken Sensibilisierungen mit Pinachromviolett oder Gemische von diesem mit Pinaverdol in der im Büchlein Eder, „Rezepte und Tabellen" angegebenen Mischungsart eine fast lückenlose Panchromasie bis ins Rot mit genügender Konstanz des Gammas über den sichtbaren Spektralbezirk, vielleicht etwas gegen Rot ansteigend.

F. E. Ross schildert Spezialfälle mit panchromatischen Platten und starker Empfindlichkeitsdepression im Blaugrün; er fand im Blau ein nur wenig ansteigendes, also ziemlich konstantes Gamma, das an der Zone der Depression stark sinkt, bei der Wellenlänge 530 $\mu\mu$ ein Minimum erreicht und dann in der Sensibilisierungszone von 530 $\mu\mu$ an rasch ansteigt und bis etwa 620 $\mu\mu$ annähernd konstant bleibt. — Wie man sieht, sind dies ebenso wie in den anderen vorher erwähnten Beispielen nur Spezialfälle bezüglich eines Fabrikates oder einer Handelssorte von panchromatischen Platten (mit nicht angegebenem Sensibilisator), denen keine allgemeine Gültigkeit zukommt.

Auch W. J. Beckmann und F. Oudt fanden bei ihren Versuchen, daß die Wellenlänge auf das Gamma einen Einfluß hat. Bei einer panchromatischen Platte nahm das Gamma mit wachsender Wellenlänge zu, dagegen fanden sie bei orthochromatischen Platten die Schwärzungskurven für die verschiedenen Wellenlängen parallel. (Zeitschr. f. Physik, Bd. 29, S. 237, 1926.)

L. A. Jones und O. Sandvik fanden bei ihren spektrographischen Versuchen bei Verwendung von Eastman Kodak-Platten, daß sowohl bei gewöhnlichen Platten als bei orthochromatischen und panchromatischen Platten das Gamma bei kurzer Entwicklungszeit (1,5 Minuten) nahezu konstant für alle Wellenlängen von 3000 bis 7000 ist. Bei längerer Entwicklung wächst das Gamma merklich gegen die längere Wellenlänge zu. Bei sehr langer Entwicklung auf Gamma Unendlich (Entwicklungszeit etwa 10 Minuten) ist das Gamma im ultravioletten Teil wesentlich kleiner als in den Bezirken längerer Wellenlängen; im allgemeinen wächst das Maximumgamma bei allen Plattensorten gegen das rote Ende des Spektrums. Die Geschwindigkeitskonstante des Entwicklers aber variiert in entgegengesetzter Richtung, d. h. sie ist am größten im

Ultraviolett und am kleinsten im langwelligen Teile des Spektrums, indem sie bei gewöhnlichen blauempfindlichen Platten, beispielsweise in Blau, nur die Hälfte vom Ultraviolett beträgt.

Über den Zusammenhang der Farbenempfindlichkeit und der Gradation einer photographischen Platte stellten T. Thorne Baker und W. A. Balmain Versuche an. Sie arbeiteten mit einem Gitterspektrographen (Plangitter mit Quarzoptik) und untersuchten den Bezirk von 2000 bis 8000 A. E. Eine ungefärbte reine Bromsilbergelatineplatte gab dasselbe γ (Gamma) für alle Wellenlängen von Ultraviolett bis Blaugrün. Eine Emulsion mit Jodsilber gab dasselbe Gamma für Ultraviolett und Violett, aber im Blaugrün zeigte sich eine leichte Änderung; dies entspricht der Zone der Sensibilisierung durch das Jod. Färbt man eine Bromsilbergelatineplatte mit Sensibilisatoren, so kommt neben dem Spektralbande der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers noch ein neues Sensibilisierungsband hinzu, und diese beiden Zonen verhalten sich gewissermaßen wie zwei verschiedene Platten, deren jede ein eigenes Gamma besitzt. Erythrosinplatten, deren Sensibilisierung im Gelbgrün sehr stark und ausgeprägt ist, geben ein größeres Gamma im Gelbgrün als im Violett; man weiß, daß die orthochromatischen Platten dieser Type hinter Gelbfiltern härter arbeiten. Panchromatische Platten zeigen zwei ausgesprochen verschiedene Gruppen von γ. Die eine Spektralzone vom Ultraviolett, Violett bis Blaugrün zeigt einen hohen Wert, die Sensibilisierungszone von mittlerem Blaugrün bis ins Rot besitzt einen niedrigeren Wert. Jede dieser beiden Spektralzonen zeigt aber für die verschiedenen Wellenlängen der zwei Bezirke ein konstantes Gamma. Dies tritt namentlich bei reinen Bromsilberemulsionen, die panchromatisch sind, hervor. Daraus ergibt sich die praktische Konsequenz für die Dreifarbenphotographie hinter den drei Lichtfiltern (Rot, Grün, Blauviolett), daß man eigentlich gleichsam zweierlei Platten mit zweierlei Gradation vor sich hat.

IX. Veränderlichkeit des Gammas bei Aufnahmen hinter farbigen Lichtfiltern in der farbigen Photographie.

Man kann die spektralanalytisch bei monochromem Licht gefundenen Resultate in summarischer Weise in Skalen-Sensitometern mit blauen, grünen, gelben und roten Lichtfiltern nachweisen. So z. B. kann man das Sinken der Gradation bei gewöhnlichen blauempfindlichen Bromsilberplatten hinter strengen gelben Lichtfiltern gegenüber der Gradation hinter blauen Filtern des Eder-Hecht-Sensitometers in einem gewöhnlichen Densographen beobachten und registrieren.

Bei den gebräuchlichen gut orthochromatischen Platten mit hoher Grün- und Gelbempfindlichkeit ändern sich die Gradationsverhältnisse zugunsten der Sensibilisierungszone. Man kann beobachten, wie bei Tageslichtaufnahmen mit orthochromatischen Platten in Kombination mit strengen Gelbfiltern das Gamma größer wird, gegenüber den Aufnahmen ohne Gelbscheibe, d. h. daß die Negative

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

kontrastreicher werden (s. oben). Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn man die Aufnahmen mit Gelbfilter oder Grünfilter mit solchen hinter Blaufiltern vergleicht.

Abb. 96 zeigt die Schwärzungskurven einer wenig empfindlichen Bromsilbergelatineplatte (Diapositiv-Platte) hinter Blau- und Gelbfiltern (Eder-Hecht) bei gleichlanger Entwicklungszeit. Die Exposition war von Lüppo-Cramer mit Glühlampen mit Blaufilter 10 Sekunden, mit Gelbfilter 1 Stunde gemacht, womit annähernd der gleiche Schwellenwert erhalten wurde. — Wie man

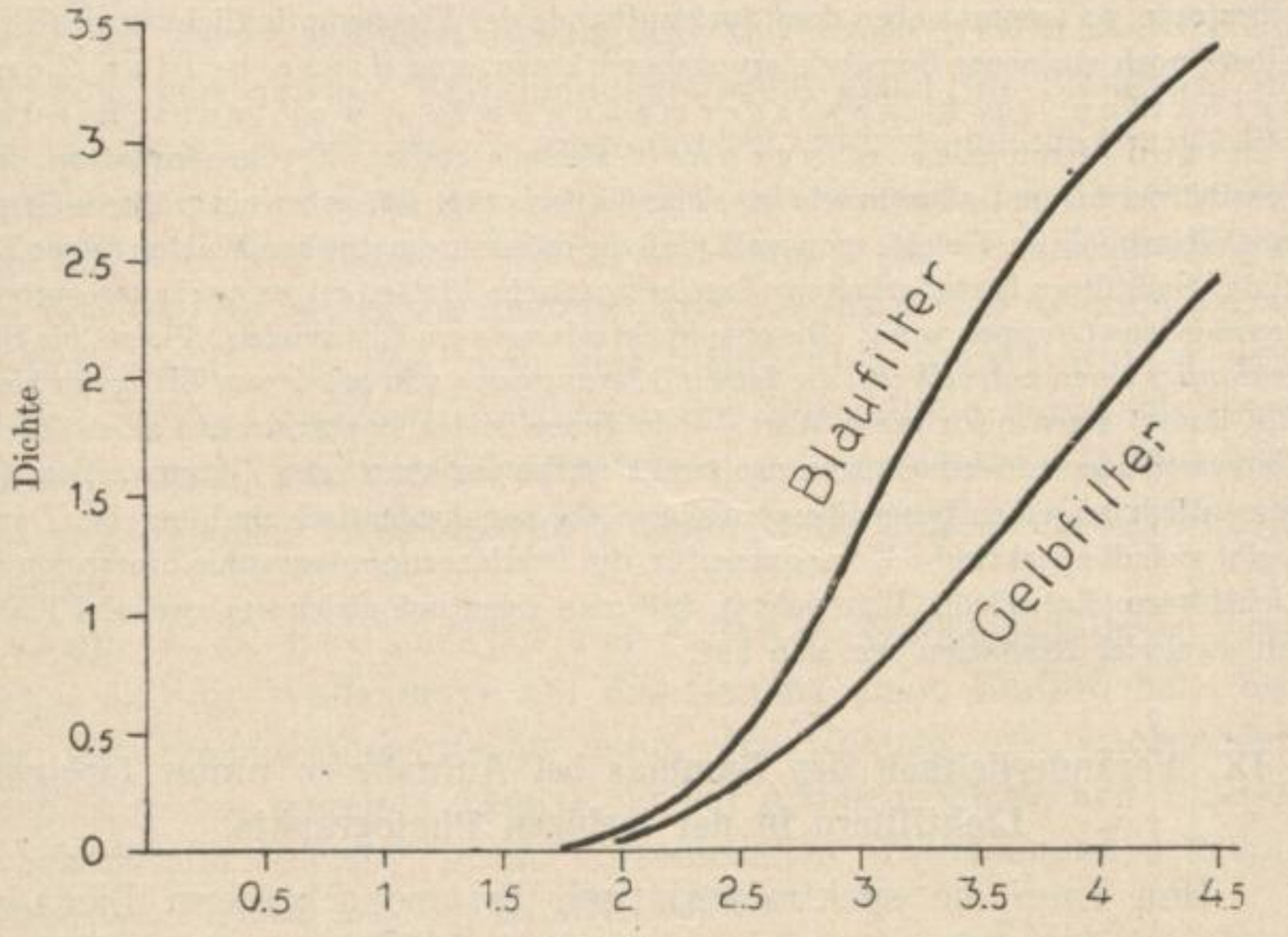


Abb. 96. Verschiedene Gradation von Bromsilbergelatineplatten hinter Blau- und Gelbfilter nach Lüppo-Cramer.

aus diesen von Lüppo-Cramer hergestellten Densogrammen ersieht, ist das Gamma in der Zone der Unterexposition gegenüber den grünen, gelben und roten Strahlen geringer als das Gamma in der Zone der ausschlaggebenden Empfindlichkeit im Blau, in dem die Gradation sich viel kräftiger gestaltet. — Dies entspricht vollkommen Eders eingangs erwähnten Befunden mit Bromsilbergelatineplatten mittlerer Empfindlichkeit. — Dieses auffällige Zurückbleiben des Gammas hinter dem Gelbfilter gegenüber dem Gamma hinter dem Blaufilter bei gewöhnlichen photographischen Platten kommt nach Lüppo-Cramer (Phot. Ind. 1927) bei dem beschriebenen Ver-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

suche zum Teile auf Rechnung der sehr langen Belichtung bei dem schwach wirksamen gelben Licht. Tränkt man die Bromsilbergelatineplatte (Diapositivplatte) mit Natriumnitrit oder Natriumformiat (die das im Lichte abgespaltene Brom binden, Bromakzeptoren), so wird die Blauempfindlichkeit nicht oder nur unbedeutend erhöht, dagegen die Empfindlichkeit einer gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatte hinter dem Gelbfilter enorm erhöht und die Schwärzungskurve (Gradation) der unter dem Gelbfilter erhaltenen Schwärzung nähert sich sehr der unter dem Blaufilter, die ihrerseits durch das Nitrit nur

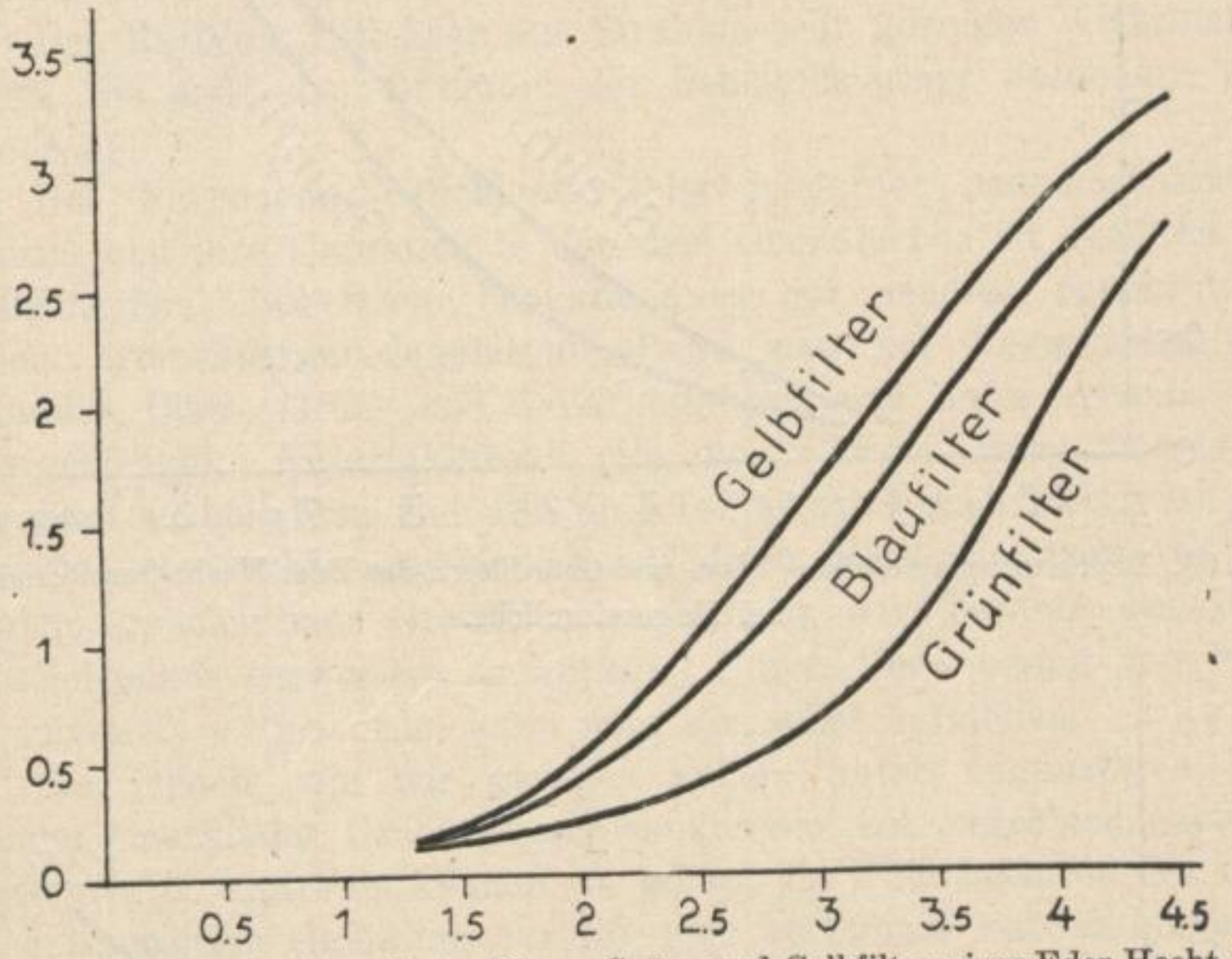


Abb. 97. Erythrosinplatte hinter Blau-, Grün- und Gelbfilter eines Eder-Hecht-Sensitometers mit elektr. Glühlampe.

weniger beeinflußt wird (Lüppo-Cramer, Phot. Industrie, 1927, S. 337). Es wird nach diesen wichtigen Befunden Lüppo-Cramers der Einfluß des Schwarzschildschen Exponenten p durch den Bromakzeptor sehr herabgesetzt.

Die Abb. 97 zeigt das Verhalten einer Erythrosin-Bade-Platte (mit Ammoniak) hinter dem Blau-, Grün- und Gelbfilter eines Eder-Hecht-Sensitometers bei dem Licht einer elektrischen Glühlampe nach Lüppo-Cramer. — (Metol-Hydrochinon 4½ Minuten.) — Auch dieser Befund stimmt mit Eders spektrographisch gefundenen Angaben, daß die Zone der Empfindlichkeitsdepression

im Blaugrün einen geringeren Wert für Gamma ergibt, während die Zone der kräftigen Sensibilisierung, die hinter dem Gelbfilter voll

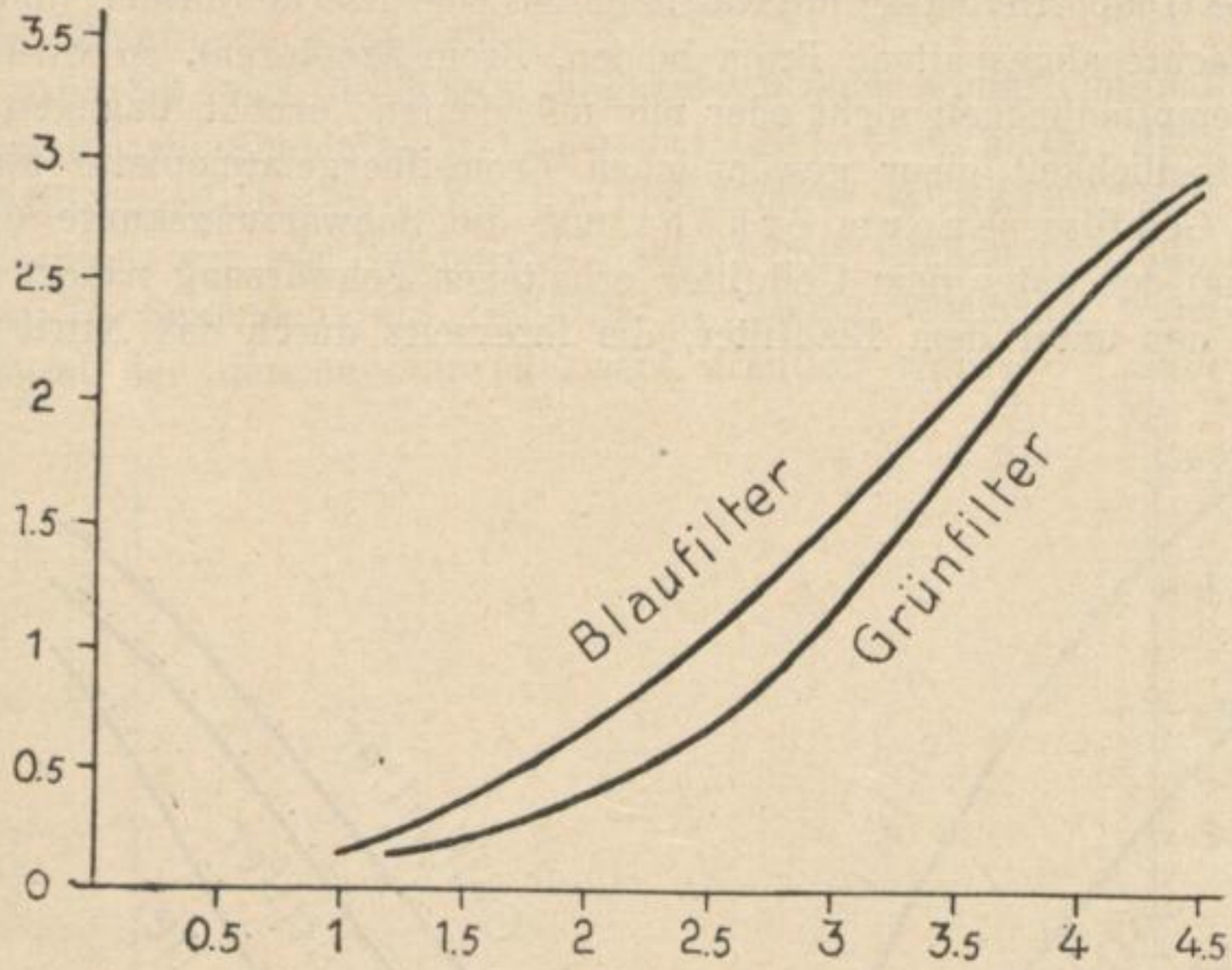


Abb. 98. Erythrosinplatte hinter Blau- und Grünfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers bei Magnesiumlicht.

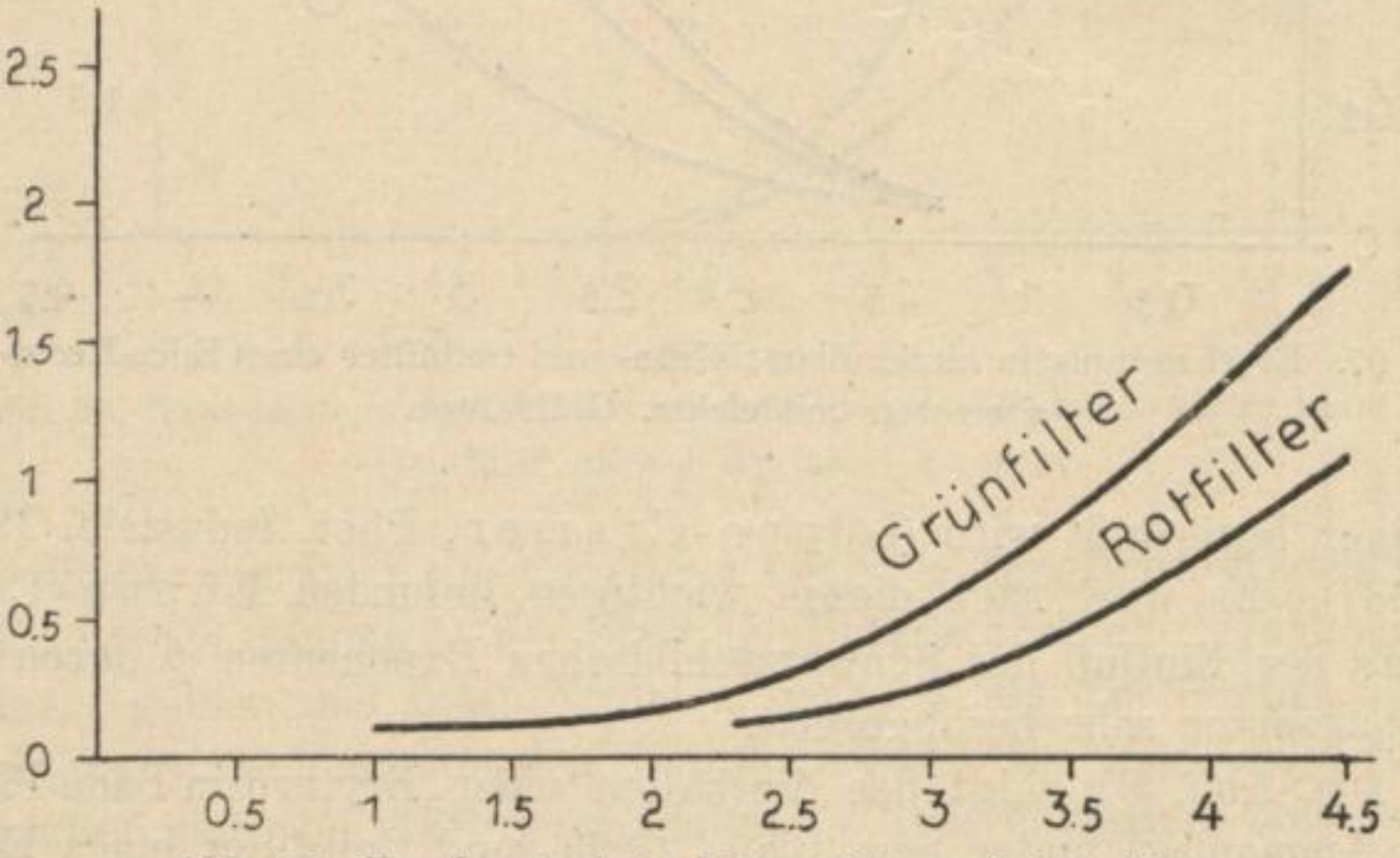


Abb. 99. Erythrosinplatte hinter Rot- und Grünfilter.

zur Geltung kommt, eine steiler ansteigende Gradation (größeres Gamma) liefert. Die Praxis der orthochromatischen Photographie bestätigt dies.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Abb. 98 zeigt die Schwärzungskurve einer orthochromatischen Platte (Erythrosin) hinter dem Blau- und Grünfilter des Eder-Hecht-Sensitometers; die Belichtung erfolgte im Grün mit der doppelten Menge Magnesiumband. Entwicklung mit Metol-Hydrochinon während $4^1/_2$ Minuten. (Densogramm von Lüppo-Cramer.) Der Gang der Gradation ist derselbe wie im vorigen Falle.

Dagegen zeigt Abb. 99, wie die Gradation einer orthochromatischen Platte (Erythrosin) hinter dem Rotfilter des Eder-Hecht-Sensitometers gegenüber jener hinter dem Grünfilter zurückbleibt (Lüppo-Cramer).

Das Rotfilter läßt aber nur Strahlen sehr geringer Wirksamkeit durch, die sich vom Optimum der Sensibilisierung besonders weit entfernen.

Die Farbenempfindlichkeit vieler moderner panchromatischer Platten und ihre Gradation in den drei Grundfarben ist ziemlich gut ausbalanziert. Bei Dreifarbenaufnahmen mit neueren panchromatischen Bromsilbergelatineplatten pflegt man bei Verwendung bestimmter Blau-, Grün- und Rotorangefilter und unter Angabe von dazugehörigen „Filterfaktoren“ (die die relativen Expositionszeiten angeben) zu belichten und alle drei Teilnegative gleichzeitig zu entwickeln. Man erhält gewöhnlich auf diese Weise Negative von genügend gleichartiger Gradation, um sie in der Technik des Dreifarbendruckes verwenden zu können. Durch Verwendung von Pinachromviolett + Pinaverdol kann man sie selbst herstellen.

Da jedoch, wie wir gesehen haben, unter ungünstigen Umständen merkliche Gradationsschwankungen bei verschiedenartigen Plattensorten eintreten können, so gelten die Filterfaktoren der relativen Exposition eigentlich nur für jene bestimmte Entwicklungszeit, für die die Faktoren festgestellt wurden. Übrigens weiß jeder geübte und technisch gebildete Dreifarbendrucker, daß man mäßige Schwankungen in der Gradation der Teilnegative durch angepaßtes Kopieren oder Einfärben der Druckklischees empirisch korrigieren kann; dazu kommt noch die übliche Zurichtung der Druckformen und ihre Retusche.

In der messenden Prüfung der Wirkungsart des Dreifarbenlichtfilters wird man auch die Abhängigkeit der Farbenauslese von der Lichtintensität berücksichtigen müssen, weil die Transmissionszonen der Farbstoffe nicht scharf begrenzt sind, sondern graduiert verlaufen.

Bei Farbenfiltern in der Dreifarbenphotographie wird man solange belichten, bis die Wirkung im hellsten Lichte die Dichte 2,5

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

erreicht, und prüft, wie weit unter diesen Verhältnissen hinter den Lichtfiltern noch die halbabsorbierten Spektralzonen zur Geltung kommen.

Über diesen Zusammenhang schrieb Eder: „Meine Erfahrung lehrt, daß die Lichtfilter praktisch dort abschneiden, wo bei kurzer Exposition das durchgelassene Licht des Filters auf 30 bis 40 Proz. geschwächt ist, die größte Transparenz gleich 100 gesetzt; bei mittlerer Exposition aber dort, wo die Lichtfilter eine Transparenz von mindestens 10 Proz. aufweisen.“ (Eder, „Spektralanalytische Studien über den photographischen Dreifarbendruck“, Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien, 2. Juli 1902; abgedruckt in Eder und Valenta „Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse“, 1904, IV, S. 5.)

X. Zusammenfassung.

Faßt man die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zusammen, so ergibt sich die Richtigkeit des von Eder im Jahre 1899 aufgestellten Grundsatzes, daß die Gradation oder das „Gamma“ photographischer Platten von der Wellenlänge (Farbe) des wirkenden Lichtes abhängig ist. — Dieser Satz erweist sich als allgemeingültig und schließt den speziellen Fall für mannigfache Plattensorten ein, in dem sich die Gradationskurven für verschiedene Farben mitunter so sehr nähern, daß sie praktisch als gleichartig angesehen werden können.

Damit ist auch die Richtigkeit der von Eder damals aufgestellten These begründet, die lautet: „Streng genommen hat jede photographische Platte eine besondere Schwärzungskurve für die einzelnen Strahlen verschiedener Wellenlängen und es ist auch der Wert für den Schwarzschildschen Exponenten p im Schwarzschildschen Schwärzungsgesetz $J \cdot t^p$ mit der Wellenlänge variabel.“

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VIERZEHNTES KAPITEL.

VERWENDUNG VON LICHTFILTERN. — TROCKENE GELATINEFILTER UND FLÜSSIGKEITS-LICHTFILTER. — BESTIMMUNG DES SENSIBILISIERUNGSFAKTORS MIT LICHTFILTERN. — FARBENSENSITOMETRIE MIT FARBIGEN LICHTFILTERN. REDUKTION AUF LICHTFILTER VON IDEALEM TRANSMISSIONSVERMÖGEN. — TAGESLICHTLAMPEN FÜR INDUSTRIELLE ZWECKE. — DURCHLÄSSIGKEIT FÜR ULTRAVIOLETT.

Am richtigsten ist es, die Strahlen der Normallichtquelle frei auf die sensible Schichte einfallen zu lassen, denn nur dann kommt das Licht zur vollen Geltung, ohne durch Absorption oder Reflexion verändert zu sein (z. B.: Scheiner-Sensitometer mit Hefnerkerze). Aber man verwendet häufig Normallichtquellen in Kombination mit Lichtfiltern (in England „screened Sources“ genannt), um die gelbliche Färbung von Lichtquellen auf die weiße Farbe des Tageslichtes zu bringen oder gewisse Farbenzonen herauszuheben. Zu den erstgenannten („unscreened Sources“) gehören die Hefnerkerze, das Magnesiumlicht, Bogenlicht usw., während zu den Beispielen der letztgenannten Gruppe die Metallfadenlampe mit ihrer Glashülle gehört, die eine, allerdings für die photographische Verwendung geringfügige, selektive Lichtabsorption im Ultraviolett mit sich bringt. Viel eingreifender gestaltet sich die Vorschaltung, z. B. von blauen Lichtfiltern vor standardisierten Azetylen-, Metallfadenlampen usw., welche die Aufgabe haben, die Farbe des Tageslichtes nachzuahmen. — Vgl. Kapitel XV.

Man benutzt Flüssigkeitsfilter oder farbige Gelatineschichten, seltener Kollodiumhäutchen oder in der Masse gefärbte farbige Gläser.

In quantitativer Beziehung sind die Flüssigkeitsfilter am sichersten zu regulieren; ihre Farbstoffdichte oder Farbstoffkonzentration

ist leicht bestimmbar und deshalb fehlen sie niemals in photographisch-photometrischen Untersuchungslaboratorien. Die Farbstoffdichte eines Lichtfilters wird durch die Farbstoffmenge in Gramm pro Quadratmeter der Filterfläche ausgedrückt.

Trocken-Filter, insbesondere die mit gefärbten Gelatinemassen hergestellten Farbenfilter, zeichnen sich aber durch ihre sehr bequeme Handhabung bei befriedigender Genauigkeit aus.

Flüssigkeits-Filter verwendet man in Form von Glaswannen mit planparallelen Deckplatten und bestimmter Dicke der Schichte.

I. Lichtfilter mit spektraler gleichmässiger Dämpfung des Lichtes.

Zur spektral gleichmäßigen Schwächung des Lichtes bedient man sich einer oder mehrerer mattierter Glas- oder Bergkristallplatten, welche das Licht gleichmäßig zerstreuen. Opalglas (Milchglas) wird gleichfalls oft verwendet, zeigt aber einigermaßen Selektion. — Graufilter (Grau-Gelatine) von gleichmäßiger Dicke der Schichte werden als Dämpfungsfilter bei photographischen Aufnahmen zwecks Regulierung der Exposition z. B. bei Kinoaufnahmen verwendet und zwar mit der Dichte von 0,15, 0,30, 0,45, 0,60, 0,75, 0,90 und 1,05 entsprechend der Lichtdurchlässigkeit von 66, 33, 22, 16. $12^1/_2$ und 9% (Kinotechnik, 1928, S. 544). — Zur Lichtschwächung bedient man sich auch mit bestem Erfolge geschwärzter Drahtgitter.

II. Selektive Lichtfilter. — Dämpfungsfilter. — Kontrastfilter. — Filterfaktor oder Verlängerungsfaktor.

Hier sollen zunächst die zur Plattenprüfung benützten Gelatine- und Flüssigkeits-Lichtfilter, die in der praktischen Sensitometrie als Ersatz oder als Ergänzung der spektralanalytischen Untersuchung eine Rolle spielen, besprochen werden. — Vgl. Kapitel XV.

Man verwendet Lichtfilter als „Dämpfungsfilter“ bei Aufnahmen mit farbenempfindlichen Platten, um die Helligkeit gewisser Spektralzonen des wirkenden Lichtes abzuschwächen (zu dämpfen) oder man verwendet sie als „Selektions-Filter“ für die Farbenauslese bei der Dreifarbenphotographie, -Sensitometrie, Mikro- und Astrophotographie usw., um bestimmte Strahlengruppen gänzlich zu unterdrücken. — Die Lichtabsorption aller Arten von Lichtfiltern bewirkt eine verkleinerte Transparenz oder vermindertes Transmissionsvermögen derselben, was sich in verschiedenem Maße geltend

macht; die verminderte Transparenz bringt naturgemäß eine verlängerte Exposition gegenüber den Aufnahmen ohne Filter mit sich. Das Verhältnis dieser Expositionen mit und ohne Lichtfilter bezeichnet man als den „Verlängerungsfaktor“ betreffs Exposition oder den „Filterfaktor“.

Die Größe des Filterfaktors hängt ab:

1. Von der spektralen Absorption des Lichtes im Lichtfilter, beziehungsweise dessen Transparenz für Licht verschiedener Wellenlängen unter Berücksichtigung der „Schwärzlichkeit“ der Farbenschichten.
2. Von der spektralen Empfindlichkeit der photographischen Platte (Orthochromasie, Panchromasie) und von der spektralen Verteilung der Energie in dem zur Photographie verwendeten Licht.

Das Verhältnis der Belichtungszeit für eine gegebene Platte mit und ohne Lichtfilter kann für konstante, bestimmte Lichtarten ohne weiteres experimentell mit irgend einem Sensitometer bestimmt werden.

Für die photographische Probe genügt eine einzige Belichtung der Probeplatte, von welcher ein Streifen mit und ohne Lichtfilter hinter einem Skalenphotometer belichtet und in der üblichen Weise entwickelt wird.

Die für weißes Tageslicht oder „mittleres Sonnenlicht“ gefundenen Filterfaktoren bleiben auch bei Verwendung von Magnesiumlicht und dem Eder-Hecht-Graukeilsensitometer einigermaßen (aber nicht völlig) gleichartig, verändern sich aber sehr bei Verwendung elektrischer Glühlampen oder von Kerzenlicht.

Man kann in der photographischen Praxis mit zulänglicher Annäherung annehmen, daß bei gleichbleibender Beleuchtung und Entwicklung der Filterfaktor mit verschiedenem Photomaterial beträchtlich schwankt. Z. B. ist der Filterfaktor für eine orangerote Filterscheibe mit Erythrosinplatten = 2,52, aber mit panchromatischen Platten 1,45 (Eder, 1927), wie im XVII. Kapitel näher begründet ist.

Bei praktischen photographischen Aufnahmen mit panchromatischen Platten fand Loyd A. Jones („Kinotechnik“, 1928. S. 17) sowohl bei Bogenlicht als auch bei Tageslicht die gleichen Lichtfilter am Platze, die Farbenwiedergabe ist praktisch eine befriedigende und ausreichende (dasselbe gilt vom Magnesiumlicht, Eder). Dagegen liegen die Filterfaktoren bei Glühlampenbeleuchtung beträchtlich niedriger, weil das Licht der Glühlampen an und für sich schon

relativ arm an Blau ist und deshalb keiner so starken Dämpfung bedarf. — Mitunter kommt man sogar in diesem Falle ohne jeden Filter aus (z. B. mit panchromatischen Platten und Halbwattlampen).

Ebenso schwanken die Größen der Filterfaktoren bei ein und derselben Plattensorte (orthochromatische Platte) bei Veränderungen der spektralen Zusammensetzung des sehr variablen Tageslichtes je nach der Bewölkung und Sonnenhöhe; dies zeigt die Praxis der Landschaftsphotographie mit Gelbfiltern empirisch und begründet die Sensitometrie messend. Rheden schätzt in seiner Mitteilung über die Abhängigkeit des Filterfaktors von der Himmelsfarbe diese Schwankung von 1,8 bis 4,2, wenn er für mittleres weißes Tageslicht 2,6 wäre (Phot. Rundschau. 1926. S. 489).

Diese großen Variationen des Tageslichtes lassen es gerechtfertigt erscheinen, wenn Eder empfiehlt, die sensitometrische Charakteristik eines in der angewandten Photographie benutzten Lichtfilters mit dazugehöriger Platte auf konstantes weißes Magnesiumlicht zu beziehen, das einen konstanten Standard von weißem Licht abgibt und leicht auf konventionelles Sonnenlicht zurückzuführen ist.

Bestimmt man den Filterfaktor (Verlängerungsfaktor) bei der Belichtung für verschieden dichte Gelbfilter, wie man sie bei Aufnahmen im Freien als Dämpfungsfilter für Blau verwendet, so ergeben sich je nach der Lichtart verschiedene Werte, die z. B. Foige (Phot. Rundschau, 1926, S. 96) beschrieb. Er verglich weißes Tageslicht (weißer Himmel), Kohlen-, Bogenlicht und Gleichstrom 6 Amp. und Magnesiumlicht. Viel geringer als bei diesen ist die Blauwirkung der Halbwattlampe, noch geringer die des Gasglühlichtes. Dementsprechend schwanken die Verlängerungsfaktoren bei Verwendung von Erythrosinplatten (Perutz, Braunsiegel) und verschieden dichter, gelber Dämpfungsfilter, wozu Foige folgende Tabelle gibt:

Verlängerungsfaktoren für Gelbfilter bei verschiedener Lichtart:

Verzögerung bei Gelbfilter	1	2	3 (Gelbfilter steigender Dichte)
weißem Himmel	2,3	3,1	3,7 fach
blauem Himmel	3,2	6,3	10 „
Bogenlicht (Reinkohle) . .	4	6	6,7 „
Magnesiumlicht	2,7	4,3	5,3 „
Halbwattlampe	1.7	2,1	2,1 „
Gasglühlicht	1,4	1,6	1,7 „

In diese Tabelle ist das hellste Gelbfilter in der üblichen Weise mit Nr. 1, das dunkelste mit Nr. 3 bezeichnet.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Loyd A. Jones hebt bei seinen Studien über Filterfaktoren (Mitt. des Forschungsinst. der Eastman Kodak Co., Nr. 301; Phot. Ind. 1927, S. 1123) mit Recht hervor, daß man zur Erreichung genauer Werte auch die Gradation der Platten in den verschiedenen Spektralzonen (wie sie aus der charakteristischen Schwärzungskurve hervorgeht) berücksichtigen solle. Das „Gamma" könne hinter den Rot-, Grün- und Blau- oder Gelbfiltern gleichbleiben, müsse es aber nicht in allen Fällen. Mitunter ist das Gamma hinter dem Rotfilter etwas größer und das bei blauem oder grünem Lichte etwas kleiner als bei weißem Lichte (z. B. bei Kodak panchromatischen Filmen), was Unsicherheiten mit sich bringe. Da würde der Fall eintreten, daß sich manche Negative mit Lichtfilter und gleicher Lichtmenge in den Schatten als gleichdicht erweisen, während die raschere Dichtezunahme hinter rotem Filter in den Lichtern größere Dichte aufweisen würde. Allerdings kann man innerhalb der gewöhnlichen Grenzen in der Praxis diese Abweichungen vernachlässigen.

III. Transmission von farbigen Glasplatten.

Über die Transmission von roten, gelben, grünen und blauen Lichtfiltern, wie sie im Eder-Hecht-Sensitometer verwandt wurden, s. S. 279, 282 und 398.

Brayant bestimmte die Transparenz von Gläsern, die in der Astrophotographie benutzt werden, und fand für blaue Filter, welche die Spektralzone von etwa 400—457 $\mu\mu$ durchließen, eine Maximaltransparenz (Transmission) im optimalen Teile im Werte von 26 %; mittlere Transparenz der ganzen blauen Zone = 10 %. — Das grüne Filter war durchlässig für Licht von 456—600 $\mu\mu$ mit einer Transparenz von 25 % an der durchsichtigsten Stelle und einer mittleren Gesamttransparenz von etwa 10 %. — Das rote Filter ließ Licht von 598 über 740 durch, mit einer maximalen Transparenz von 80 % und einer mittleren von zirka 50—60 % (Astrophysical Journal, 1922, Bd. 55, S. 9).

Das rote Glas mit der Bezeichnung „F 4512" von Schott in Jena hat in 2 mm Dicke eine Durchlässigkeit von 85 % für den roten und infraroten Spektralteil. Dieses Glas läßt Rot von der Wellenlänge 650 $\mu\mu$ und das Infrarot bis 2200 $\mu\mu$ durch, also fünfmal so breite Zonen als das ganze sichtbare Spektrum und achtzehnmal soviel als vom ultravioletten Sonnenspektrum (Dorno, Meteorologische Zeitschrift 1924, S. 235 und Dorno, „Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraigl [Oberengadin]" 1927, S. 19 und 33).

Bestimmung der Expositionszeit hinter Dreifarben-Lichtfiltern und Dämpfungsfiltern für die Praxis des Dreifarbendruckes. In diesem Fall hängt die relative Exposition von der Natur der Lichtfilter, der Art der Farbenempfindlichkeit der Platten und der Art der wirkenden Beleuchtung (spektrale Zusammensetzung) ab. Es sei in Kürze erwähnt, daß man die relativen Expositionen am bequemsten mittels eines Graukeiles

ermittelt; man benutzt einen genügend breiten Graukeil (etwa wie Abb. 135), legt Streifen der drei Lichtfilter ein, darunter die zu prüfende Platte und belichtet das Ganze gleichzeitig, oder man prüft mit konstantem Licht die Lichtfilter hintereinander.

IV. Flüssigkeits-Lichtfilter.

Für exakte Untersuchungen werden Flüssigkeitsfilter in der Regel bevorzugt, weil ihre Dichte und selektive Lichtabsorption sich sicher und bequem regulieren lassen.

Für gewöhnlich findet man mit einfachen Glaswannen, welche die Flüssigkeiten aufnehmen, das Auslangen.

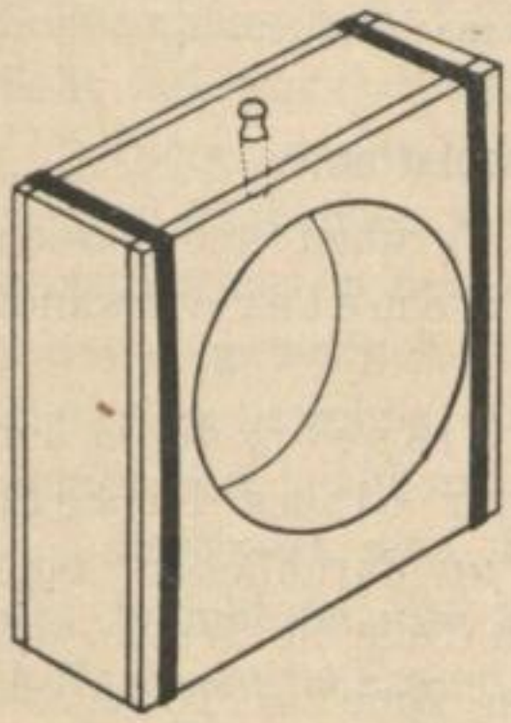


Abb. 100.

Eine gebräuchliche Form einer einfachen Glaswanne für Flüssigkeitsfilter zeigt Abb. 100 (nach Phot. Journ. 1925, S. 34), bei welcher die Verschlußgläser mit Kautschukbändern angepreßt werden. Innere Weite meistens 1 cm.

Die absorbierenden Flüssigkeiten sind entweder einheitliche Substanzen oder häufig Mischungen verschieden absorbierender Komponenten, die sich gegenseitig ergänzen.

Wenn man aber diverse Substanzen, die sich nicht unzersetzt mischen lassen, benutzen will, dann wendet man zwei hintereinander geschaltete Wannen (meist mit je 1 cm Weite) an. Für sensitometrische Zwecke dienen in diesem Falle zweiteilige Wannen mit einer gemeinsamen mittleren Glaswand, um stärkeren Lichtverlust zu vermeiden (s. Kap. XVI).

V. Teilung der Strahlung einer Normallichtquelle durch blaue und gelbe Lichtfilter in zwei Zonen, zwecks Messung der gesamten Farbensensibilisierung im optisch hellen Spektrum.

Für die Charakteristik einer orthochromatischen Platte ist es von Wert zu wissen [1]):

1. Welchen Anteil an der gesamten Lichtempfindlichkeit die Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers in Blauviolett hat.

2. Wieviel insgesamt der Effekt der Sensibilisierung gegen Grün, Gelb und Rot gegenüber der Blauempfindlichkeit (Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers) ist (Sensibilisierungsfaktor).

---

1) Nach einem Vortrage von Eder am 5. Internat. Kongreß f. angewandte Chemie zu Berlin, Juni 1903 (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1903, S. 123).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

I. M. Eder erreichte diesen Zweck in seinem System der Sensitometrie (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien 1899 und April 1900. Mathem.-naturw. Klasse) durch zwei blaue und gelbe Lichtfilter, die das Spektrum bei ungefähr 490 $\mu\mu$ (nächst der Fraunhoferschen Linie F) in zwei Teile schneiden.

Das Empfindlichkeitsverhältnis einer photographischen Platte hinter blauen und gelben Lichtfiltern ist eine wichtige Größe für die Charakteristik der photographischen Schichten (gewöhnliche Bromsilber-Gelatine-Platten oder farbenempfindliche Platten). Es empfiehlt sich, hierbei die verschiedene Transparenz der blauen und gelben Lichtfilter auf die ideale 100prozentige Transparenz umzurechnen, was später ausführlicher beschrieben werden wird.

Durch Ablesen des effektiven Schwellenwertes hinter den blauen und gelben Filtern ergibt sich das Verhältnis der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers in Blau zur Größe der gesamten Empfindlichkeitssteigerung zufolge Anwendung eines Farben-Sensibilisators im grünen bis roten Spektralbezirke.

Es wurde auch vorgeschlagen, statt des Schwellenwertes bei der Bestimmung der Relation der Empfindlichkeit hinter Blau- und Gelbfilter die Inertia Hurter und Driffields zugrunde zu legen[1]), es ist jedoch für gewöhnlich der Bezug auf den effektiven Schwellenwert vorzuziehen.

Zu blauen Lichtfiltern eignen sich besonders Kupfersulfatlösungen.

Reine Kupfersulfatlösung ist kein so kräftiges Absorptionsmittel als die ammoniakalische Kupferlösung. Die grünlich-blaue Lösung von 57 g kristallisiertem Kupfersulfat zu 1 Liter Wasser absorbiert das ganze Infrarot, schwächt sehr stark das Rot bei 700 $\mu\mu$ und läßt bei 650 $\mu\mu$ etwa $^1/_{10}$ des Lichtes durch, absorbiert allmählich schwächer werdend das Orange, weniger das Gelb und läßt Grün, Blau und Violett einschließlich Ultraviolett bis 300 $\mu\mu$ gut durch. Ein solches Filter in geeigneter Konzentration in 1 cm dicker Schicht wird in neuerer Zeit als Zusatz-Lichtfilter neben ammoniakalischer Kupferlösung zur Imitation von Tageslicht verwendet (s. Kapitel XVI).

Weitaus besser bewirkt ammoniakalische Kupferlösung die Ausschaltung der roten, blauen und gelben und bis zu

---

1) S. E. Sheppard und C. K. Kenneth Mees („Untersuchungen über die Theorie des photographischen Prozesses“ 1912, S, 351, W. Knapp, Halle a. Saale). Sie bezeichnen diesen Quotienten mit χ (griechisch, = Ch. genannt von Chroma, Farbe).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

einem gewissen Grad der hellgrünen Strahlen, weshalb diese besondere Beachtung verdienen. Vor den meisten Teerfarbstoffen oder Indigolösungen zeigt diese ammoniakalische Kupferlösung den Vorzug einer kompletten Absorption des äußeren Rot, das diese Lichtfilter besonders wertvoll macht.

Die von Eder zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Flüssigkeitsfilter (in 1 cm Dicke der Schicht) sind:

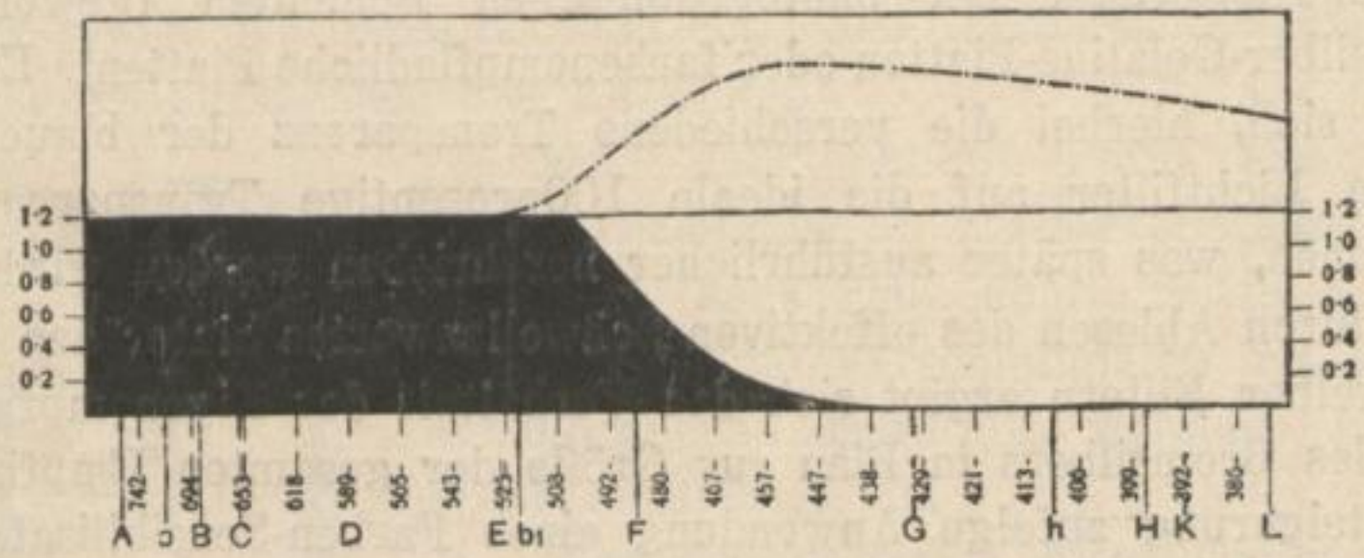


Abb. 101. Absorptions-Spektrum der ammoniakalischen Kupferlösung A, bezogen auf Wellenlängen und Fraunhofersche Linien des Sonnenspektrums; die obere gestrichelte Kurve stellt schematisch die Empfindlichkeit der Bromsilber-Gelatine gegen Sonnenlicht dar.

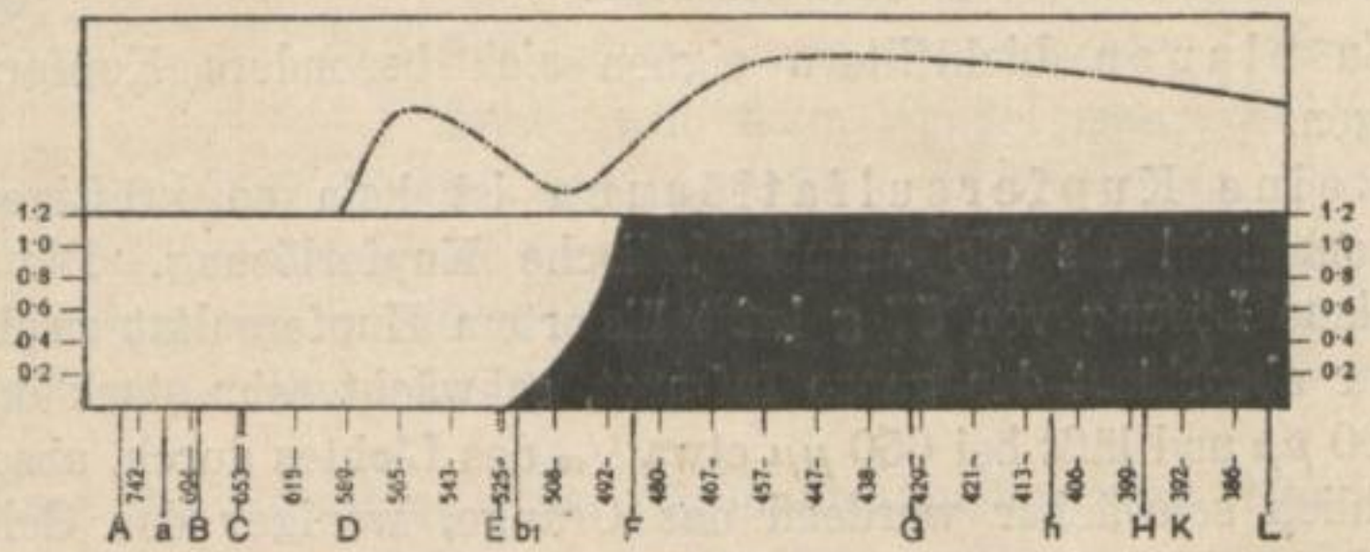


Abb. 102. Absorptions-Spektrum der Kaliummonochromatlösung; die obere gestrichelte Kurve stellt die durchschnittliche Empfindlichkeit einer orthochromatischen (Erythrosin-)Platte dar.

A. Das blaue ammoniakalische Kupfer-Lichtfilter besteht aus einer Lösung von 45 g kristallisiertem Kupfersulfat und soviel Ammoniak, daß eine klare, tief blaue Flüssigkeit entsteht und zwar mit Wasser bis zum Gesamtvolumen von 1000 ccm; es läßt annähernd nur jene Strahlen durch, welche der Eigenempfindlichkeit der Bromsilbergelatine bei normaler Belichtung entsprechen.

B. Zu gelben Lichtfiltern eignen sich besonders Kaliummonochromat-Lösungen, weil sie die roten, gelben und grünen

Strahlen gut durchlassen, dagegen das Blau, violett und Ultraviolett verschlucken und somit die Ausschaltung der kurzwelligen Strahlen mit Sicherheit ermöglichen, was bei gelben Teerfarbstoffen nicht immer der Fall ist (z. B. lassen viele derselben irgendeine Zone von Ultraviolett mehr oder weniger durchdringen).

Deshalb verwendete Eder Kupfer- und Chromsalzlösungen in seinem System der Sensitometrie zur Zweiteilung des Spektrums.

Das gelbe Kaliummonochromatfilter besteht aus einer Lösung von 40 g Kaliummonochromat zum Vol. von 1000 ccm. Es schneidet in einer 1 cm dicken Flüssigkeitsschicht die blauen und violetten Strahlen ab und läßt nur solche Lichtstrahlen durch, welche die Farbensensibilisierung umschließen.

Die Abbildungen 101 und 102 machen die Absorptionskurven der Kupfer- und des Chromatfilters ersichtlich [1]).

Chr. Winther und E. H. Mynster untersuchten die Transparenz einer ammoniakalischen Kupferlösung, die 2,6 % kristallisiertes Kupfersulfat enthielt, unter Zusatz der gerade zur Auflösung des Niederschlages verwendeten Ammoniakmenge und dann mit steigendem Ammoniak-Überschuß. Die Absorption im sichtbaren Spektrum (ab 450 $\mu\mu$) stieg langsam gegen Gelb etc. an und verlief gleichmäßig mit oder ohne Ammoniak-Überschuß; die maximale Transparenz im Ultraviolett (ab 400 $\mu\mu$) aber wird erst mit dem ungefähr vierfachen Überschuß von Ammoniak erreicht und diese erstreckt sich dann bei 1 cm Schichtendicke von ungefähr 450 bis 300 $\mu\mu$ (Zeitsch. f. wiss. Phot. 1926. S. 91).

Lichtfilter von Kalium-Bichromat-Lösung weisen eine orangegelbe Farbe gegenüber dem hellgelben Monochromat auf; das Bichromat schiebt die Blauabsorption weiter ins Grün vor und besitzt eine etwas geringere Transparenz als das Monochromat. Solche Bichromatlösungen sind leicht reproduzierbare Standards für gelbe Dämpfungsfilter bei orthochromatischen Aufnahmen. Eine Lösung 1 : 1000 von Kaliumbichromat entspricht in 1 cm dicker Schicht einem sehr hellen Gelbfilter für Tageslicht-Aufnahmen, eine solche von 1 : 100 einem sehr strengen Gelbfilter. — Ammonium-Bichromat gibt dunklere orangefarbige Lösungen als das Kaliumsalz und eine 20%ige Lösung des Ammoniumsalzes schneidet alles Blau und Blaugrün inklusive Violett und Ultraviolett schroff ab (Eder und Valenta, Beiträge z. Photochemie, 1904, IV, S. 21).

VI. Farbige Gelatine-Trockenfilter und ihre Umrechnung auf ideale Transparenz.

Man stellt die farbigen Gelatinefolien nach jenen allgemein bekannten Methoden her, wie sie in der angewandten Dreifarbenphoto-

1) Eder, System der Sensitometrie, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien, math.- naturwiss. Klasse 1899 und 1901, abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, 1904, II. S. 96 und 127; im Auszuge: Eder, Zeitschr. f. wiss. Phot., 1903, S. 119. — Daselbst sind auch genauere quantitativ-spektrometrische Untersuchungen der Extinktionskoeffizienten der Kupfermonochromat- und Bichromatfilter angegeben.

graphie oder bei der Erzeugung von gelben Dämpfungsfiltern in Verwendung stehen [1]).

Für Zwecke der Farbensensitometrie müssen sie auf ihre Durchlässigkeit gegenüber den blauen, gelben oder andersfarbigen Zonen des Spektrums geprüft werden und überdies auf ihre Transparenz (Schwärzlichkeit) gegen Licht.

Für die Zweiteilung des Spektrums, welche der Funktion des ammoniakalischen Kupfersulfatfilters und dem Monochromatfilter entspricht, werden beim Eder-Hecht-Sensitometer analoge blaue und gelbe Gelatinefolien verwendet, welche durch grüne und rote Folien ihre Ergänzung finden (s. Seite 281). Man beachte, daß die blauen, violetten und grünen Teerfarbstoffe außer dem Lichte ihrer Eigenfarbe häufig mehr oder weniger deutliche Zonen von rotem oder infrarotem Lichte durchlassen; man kann dann Ergänzungsfarbstoffe zur Tilgung dieser Zonen einschalten, z. B. Kupferlösungen (s. S. 339).

In allen Fällen muß man Kenntnis von der Transparenz der Lichtfilter haben, die bei den in der Phototechnik angewendeten gelben Lichtfiltern am größten, sehr gut bei roten, weniger bei blauen und am geringsten bei den grünen Filtern ist.

Über die Beschaffenheit der Lichtfilter an Sensitometern schreibt J. M. Eder in der „Photogr. Rundschau“ (1920):

„Die neuartigen Sensitometer und photographischen Skalenphotometer, die zur Prüfung farbenempfindlicher Platten dienen, enthalten abgestufte Rot-, Gelb-, Grün- und Blaufilter.

Andererseits prüft man bekanntlich die Farbenempfindlichkeit mittels Spektrographen, und zwar in der Regel bei Sonnenlicht. — Wir wollen zunächst davon absehen, daß die Farbenverteilung im Sonnenlicht, je nach der Sonnenhöhe und dem Zustande der Atmosphäre, keineswegs konstant ist und das zerstreute blaue Himmelslicht wieder anders sich verhält. — Jedenfalls gibt die photographische Aufnahme des farbigen Sonnenspektrums eine sehr gute Übersicht über die Farbenempfindlichkeit der Platten.

Wenn man aber eine orthochromatische Platte von guter Grünempfindlichkeit im Spektrographen prüft, so erscheint sie im farbenprächtigen Sonnenspektrum oft sehr hervorragend empfindlich. Erprobt man aber dieselbe orthochromatische Platte praktisch bei der Aufnahme von Gemälden oder bunten Farbentafeln, so bemerkt man zur unangenehmen Überraschung, daß in der Praxis der Reproduktionsphotographen die grünen Pigmentfarben eine viel schwächere photographische Wirkung zeigen als blaue Pigmentfarben. Die Probe der Spektrumphotographie entspricht

---

1) „Pina-Handbuch“ der Farbwerke in Höchst a. Main. — A. Hübl, Die Lichtfilter. 3. Aufl. 1927. W. Knapp in Halle a. S.

— L. A. Jones, Lichtfilter, ihre Charakteristik und Anwendung in der Photographie. Nr. 307 der Mitteilg. des Kodak Research Laborat. 1927; auch Phot. Ind. 1927, S. 1123 und Die Kinotechnik 1927, S. 623.

also durchaus nicht unmittelbar den praktischen Ergebnissen beim Photographieren der bunten Farbentafeln oder bei Gemäldereproduktionen. Der Maler malt eben nicht mit Spektralfarben, sondern mit Pigmentfarben, und danach sollte sich die Probe mit dem Sensitometer richten.

Warum wirkt das Grün der Malerfarben so viel weniger als das reine Spektralgrün? Weil alle Körperfarben neben ihrer reinen Farbe nach Ostwald noch ‚Schwarz' (nebst Weiß) enthalten, weshalb das von den Pigmentfarben reflektierte (remittierte) Licht keineswegs als reine Farbe in die optische Erscheinung tritt.

Bei der Photographie von Pigmentfarben (Gemälden, bunten Stoffen usw.) kommt die optische Remissionsfunktion des Pigmentes in Betracht, welche sich als Farbenton, als Sättigung der Farbe (‚Weiß-Gehalt') und als Helligkeit (die auch von ihrem ‚Schwarz-Gehalt' abhängt) zeigt.

Für die Farbenerscheinung einer Pigmentfarbe ist auch die Beleuchtungsfunktion (Energieverteilung der Lichtstrahlen verschiedener Wellenlängen im Spektrum der Lichtquelle) von Wichtigkeit, wie Prof. Franz Exner[1]) und Prof. Dr. Fritz Kohlrausch[2]) auf Grund der Helmholtzschen Farbentheorie wissenschaftlich näher begründeten; was auch jedem Reproduktionsphotographen aus seiner Praxis bekannt ist.

Dies kann man leicht beim Photographieren der ganz vorzüglichen „Farbentafel der Höchster Farbwerke für photographische Zwecke" erkennen.

Diese starke Lichtdämpfung z. B. der grünen Farbstoffe im reflektierenden Lichte, die sozusagen mit etwa 60 bis 70% Schwarz verunreinigt sind, bewirkt das Zurückbleiben der photographischen Grünwirkung der Pigmentfarben gegenüber dem reinen Spektralgrün. Günstiger verhält sich Chromgelb oder das helle Gelb der Teerfarbstoffe in der Höchster Farbentafel, denn dieses enthält nur etwa 5 bis 10% Schwarz.

Ähnliche Erwägungen führen zur Beurteilung der Transparenz von durchsichtigen, farbigen Lichtfiltern. Man kann bei photographischen Proben die durchsichtigen Lichtfilter eines Sensitometers in ihrer Farbendurchlässigkeit derartig wählen, daß ihr photographischer Effekt annähernd dem durchschnittlichen Remissionsvermögen von typischen Pigmentfarben entspricht.

Da aber alle Pigmentfarben einen charakteristischen Anteil an sog. ‚Schwarzgehalt' (Ostwald) haben, der z. B. im Gelb gering, im Grün groß ist, so sollen dementsprechend farbige Lichtfilter eines Sensitometers das Licht analog dämpfen, d. h. wenig im Gelbfilter, stark im Grünfilter, dann werden die photographischen Effekte in beiden Fällen parallel laufen.

Will man also mittels einer sensitometrischen Prüfung ermitteln, ob eine photographische Platte ein sattes Pigmentgrün heller wiedergibt als ein sattes Blau, oder mit anderen Worten: ob ein Negativ den malerischen Helligkeitswert (die ‚Valeur') der Malerfarbe ähnlich wiedergibt, wie sie unserem Auge erscheint, so kann man entweder eine Farbtafel photographieren oder man muß die farbigen Lichtfilterstreifen des Sensitometers derartig wählen, daß sie eine analoge Schwärzlichkeit aufweisen wie die

---

1) Franz Exner, Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften, mathem.-naturwissenschaftl. Klasse, Abt. II. A, 1902 und 1920.

2) K. W. Fritz Kohlrausch, Die Prüfung von Pigmentfarben und ihre Aussage im Sinne der Helmholtzschen Farbentheorie (Mitt. d. staatl. techn. Versuchsamtes, 9. Jahrg., 1920, 1. Heft).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Farbtafel. In diesem Falle wird die Sensitometerprobe ein zutreffendes Urteil gestatten, wie die Deckung des Negatives in den verschiedenen Farbenpartien sein wird. Diese Befunde (Sensitometerzahlen der Farbenempfindlichkeit) werden von den Zahlen der Spektralphotometrie wesentlich abweichen, aber sie werden für die Atelierpraxis unmittelbar brauchbare Werte liefern, selbstverständlich unter Berücksichtigung der Beleuchtungsart.

Von dieser Erwägung ausgehend, wird man die Lichtfilter eines Skalensensitometers n i c h t derartig wählen, daß sie alle die gleiche Transparenz für alle Farben des Sonnenspektrums haben, sondern man wird sie verschieden transparent machen, jedoch analog der durchschnittlichen Schwärzlichkeit der Farben einer guten Pigmentfarbentafel oder einer mit grellen Teerfarbstoffen hergestellten Normalfarbentafel, wie es die Farbtafel der Höchster Farbwerke ist.

Nach diesen Grundsätzen hat E d e r die Lichtfilter an seinem Sensitometer hergestellt.

Prüft man eine farbenempfindliche Platte in diesem „Eder-Hecht-Graukeilsensitometer“ b e i M a g n e s i u m l i c h t, so erscheinen Blau-, Grün-, Gelb- und Rotwirkung unter den Farbenstreifen annähernd mit demselben Schwärzungsgrade wie bei einer photographischen Probeaufnahme der Höchster Farbtafel b e i T a g e s l i c h t. Hiermit erscheint die auffallend dunkle Nuance des Grünfilters in E d e r s Sensitometer nach dieser Probe gerechtfertigt.

Es ist nicht schwer, ein transparentes helleres, gelblicheres Grünfilter herzustellen, welches etwa dreimal transparenter als das bläuliche, stark gedämpfte Grün des Eder-Sensitometers ist und demzufolge eine höhere Grünempfindlichkeit in der Sensitometerzahl ausdrückt. Die Probeaufnahmen mit der Farbtafel ergeben, daß das Negativ der Farbtafel im dunklen Pigmentgrün weniger Deckung aufweist, als ein derartiges h e l l e s Sensitometer-Grünfilter anzeigt; letztere Anzeige stimmt also nicht mit der Atelierpraxis der Reproduktionsphotographen überein. Immerhin mag ein helleres, gelbgrünes Lichtfilter neben dem gedämpften Bläulichgrün bei Sensitometerproben erwünscht sein, — denn es werden hellere, gelblichgrüne Pigmentfarben mittels des entsprechend gefärbten helleren grünen Lichtfilters konform der Atelierpraxis angezeigt, was übrigens der Kundige auch aus dem Vergleiche mit dem Gelbfilter und der Absorptionskurve der Lichtfilter entnehmen könnte. Die Ablesung der unmittelbar hinter den farbigen Gelatinefiltern erhaltenen Empfindlichkeits-Anzeigen gestattet somit die vergleichende Beurteilung des Verhaltens verschiedener photographischer Platten bei Farbenaufnahmen von bunten Objekten, Gemälden usw. Man kann diese Anzeigen durch Aufnahmen mit speziellen F a r b e n t a f e l n kontrollieren (s. S. 303). Jedoch macht die sehr verschiedene Lichtremission des Lichtes, ebenso wie die verschiedene Transmission (Schwärzlichkeit) der farbigen Lichtfilter die Messung der wahren Farbenempfindlichkeit der photographischen Platten außerordentlich schwierig. Deshalb ist es sehr empfehlenswert, die verschiedenartige Lichttransmission der farbigen Gelatinefilter in die Rechnung zu setzen, die unvollkommene Transmission auf eine ideale, 100 prozentige Transmission umzurechnen und auf diesem Wege die wahre Farbenempfindlichkeit zu suchen“ (s. S. 279, 282 und 398).

VII. Bestimmung der verschiedenartigen Transparenz von flüssigen und trockenen Lichtfiltern. — Der Sensibilisierungsfaktor.

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Transparenz der farbigen Lichtfilter (Licht-Transmission) bei ihrer Verwendung zu

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

sensitometrischen Zwecken hatte bereits Eder in seinem „System der Sensitometrie“ 1900 erkannt und die verschiedene Transparenz des gelben und blauen Filters bei der Wertung der Sensitometeranzeigen des Scheiner-Sensitometers berücksichtigt[1]). Er gab an, daß man bei der Ablesung der Gelbempfindlichkeit hinter dem gelben Kaliummonochromatfilter dann die Sensitometerzahl um $+ {}^{3}/_{4}{}^{0}$ Scheiner, bei jener hinter dem blauen Kupfersulfatammoniak um $+ 3^{0}$ Scheiner erhöhen müsse, was einer Erhöhung der berechneten wahren relativen Empfindlichkeitszahl im Blau um das Doppelte entspricht, denn das Blaufilter hat die halbe Transparenz wie das Gelbfilter. — Diese Angaben begründete Eder 1901 auf dem Wege der quantitativen Spektralanalyse (Methode Vierordt) durch Bestimmung der Absorptionskurven seiner gelben und blauen Standardlösungen und kontrollierte sie durch die Ergebnisse der photographischen Sensitometrie[2]).

Die Angaben gelten für die Bestimmung des effektiven Schwellenwertes bei der Prüfung farbenempfindlicher Platten hinter flüssigen Gelb- und Blaufiltern[3]).

Diese von Eder eingeführte Methode der Umrechnung der verwendeten Lichtfilter auf Idealtransparente (100% Total-Transmission) wurde später von vielen Seiten (unter Verschweigung ihres

---

1) J. M. Eder, System der Sensitometrie, 2. Abhandlung (Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch., Wien, Dezember 1900; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, 1904, II, S. 111).

2) Eder, System d. Sensitom. 3. Abhandlung. Ebenda. Juli 1901; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, 1904, II, S. 127.

3) Die relativen Empfindlichkeitszahlen in den höheren Schwärzungsgraden weichen in jenen Fällen, in denen der Schwarzschildsche Exponent p kleiner als 1 ist, etwas von den Relationen des Schwellenwertes ab. Häufig steigt bei orthochromatischen Platten die Gradation hinter dem Gelbfilter bei kräftiger, langer Entwicklung steiler an als hinter dem blauen Lichtfilter.

Die gefundene Empfindlichkeitsrelation $\frac{\text{Blau}}{\text{Gelb}}$ ist nächst dem Schwellenwert z. B. $= \frac{1}{0{,}88}$; liest man aber die Sensitometeranzeigen gleicher kräftiger Schwärzung ab, so findet man das Verhältnis $\frac{\text{Blau}}{\text{Gelb}} = \frac{1}{1{,}1}$. Dies rührt daher, daß bei den meisten orthochromatischen Platten (Erythrosin) die Schwärzung in Grün rascher ansteigt als in Blau. Oder, wie man heute sagt, die Gradation oder das Gamma ist in beiden Spektralzonen verschieden. Wenn man die Sensitometeranzeigen hinter Gelb- und Blau-Filter in der Nähe des Schwellenwertes abliest, so erhält man stets konstante Verhältniszahlen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Urhebers) aufgegriffen und durchgeführt; auch für das Eder-Hecht-Sensitometer mit Magnesiumlicht wurde sie verwertet (s. Kap. XX).

Das Verhältnis der Empfindlichkeit einer Emulsion hinter Blau- und Gelbfilter, reduziert auf die ideale (100%ige) Transparenz der verwendeten Lichtfilter, wird als der „Sensibilisierungsfaktor“ bezeichnet (Eder). — Wenn das Verhältnis der Empfindlichkeiten Blau:Gelb = 1 ist, so wäre für die Zone der eigenen Blauempfindlichkeit des Bromsilbers und für die Farbenempfindlichkeit im roten, gelben und grünen Teil eine gleiche Empfindlichkeit (bei einer gegebenen Lichtquelle) erreicht; — bei stärkerer Sensibilisierung ist vielleicht das Verhältnis Blau:Gelb = 1:2. — Der „Sensibilisierungsfaktor“ gibt also an, um wieviel die Empfindlichkeit gegen die optisch hellen Strahlen hinter dem Gelbfilter (Rot, Gelb und Grün) im Vergleich mit der Blauempfindlichkeit gesteigert wurde. — Diese Angaben betreffen die gesamte Sensibilisierung, während die geteilte Empfindlichkeit der einzelnen Farbenzonen (Rot, Orange, Gelb, Grün) durch weitere analytische Vorgänge zu ermitteln ist.

Unter Berücksichtigung der verschieden großen Transparenz kann man die Sensitometeranzeige einer photographischen Platte im Eder-Hechtschen-Sensitometer für ideale, völlig transparent scheinende Lichtfilter bei Verwendung von Magnesiumlicht annähernd umrechnen [1]). Wären die Lichtfilter völlig transparent, so würden sie eine höhere Anzahl von Sensitometergraden zeigen. Man kann die in der praktischen Sensitometrie empirisch gefundenen Sensitometerempfindlichkeiten Eder-Hecht in Sensitometeranzeigen für ideale transparente Lichtfilter (100 Prozent Transparenz) einigermaßen genau umrechnen, da man die Lichtabsorption dieser farbigen Gelatinefilter kennt [2]).

Man führt die hinter den farbigen Lichtfiltern auf der zu prüfenden Platte abgelesenen Sensitometergrade in relative Empfindlichkeitszahlen über und multipliziert sie mit den ihrer verschiedenartigen Transparenz entsprechenden Faktoren. Diese Fak-

---

1) Insbesondere in späterer Zeit befolgt von A. Hübl „Die orthochromatische Photographie“; ferner Hübl, Die Ermittlung der Farbenempfindlichkeit mit Hilfe des Eder-Hechtschen Sensitometers (Phot. Chronik, 1926, S. 370). — Vgl. Eder, Über die Bestimmung der Farbenempfindlichkeit mit dem Eder-Hechtschen Sensitometer und ihr Bezug auf ideal transparente Lichtfilter (Phot. Ind. 1926, Heft 38).

2) J. M. Eder, Phot. Indust. Sept. 1926, Heft 38 und Sept. 1927, Heft 36; Phot. Rundsch. 1926.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

toren sind für das Edersche Blaufilter (bei Magnesiumlicht) = 3.03, für das Grünfilter = 6,35, für das Gelbfilter = 1,20, für das Rotfilter in der breiten Zone von Rot und Orange = 1,45, für die enge orangegelbe Zone = 2,52.

Man findet so die relativen Farbenempfindlichkeiten bei weißem Magnesiumlicht bezogen auf ideal transparente Lichtfilter, was genauer durch Beispiele bei der Beschreibung des Eder-Hecht-Sensitometers erläutert wird (s. Kap. XIX).

Der allmähliche Verlauf der Kurven einerseits der Transparenz sowie andererseits der Farbensensibilisierung der verwendeten photographischen Platten ist die Ursache von Ungenauigkeiten.

VIII. Grüne und violette Flüssigkeitsfilter.

Es ist schwierig, grüne Lichtfilter herzustellen, die das Rot und Gelb ebenso sicher wie das Blau und Ultraviolett absorbieren. Mit Sicherheit gelingt dies bei Kombination von Kupfervitriol und Chromaten oder Chromsäure. Vorbildlich ist das grüne Filter von E. Zettnow (Eders Jahrbuch f. Phot. 1889. S. 239); er löste 175 g Kupfervitriol, 17 g Kaliumbichromat und 2 ccm konzentrierte Schwefelsäure in Wasser zum Volumen von 500 ccm in einer 1 cm dicken Schicht. Es läßt maximal Grün in der Zone 550 bis 570 durch. — Dasselbe erreichte viel später Gibson durch Verwendung von zwei getrennten Flüssigkeiten, indem er eine 5,7 prozentige Lösung von Kupfervitriol und eine separate 7,2 prozentige Lösung von Kaliumbichromat in zwei Wannen von 1 cm Schichtendicke hintereinander schaltete. Die grüne Lichtzone erstreckt sich kräftig von 540 bis 600 $\mu\mu$. Das Maximum der Transparenz liegt bei 570 mit 60 Proz. der Lichtdurchlässigkeit.

Hier wären auch die zahlreichen Grünfilter zu erwähnen, die mit Teerfarbstoffen zu Zwecken der Dreifarbenphotographie benutzt werden. Quantitative spektrometrische Bestimmungen der Extinktionskoeffizienten von Grünfiltern aus Säuregrün + Kaliumbichromat, Aurantia + Janusgrün, Ammoniumbichromat + Neupatentblau, s. Eder, Spektralanalytische Studien über photographischen Dreifarbendruck, Denkschriften der Akademie d. Wissensch. in Wien, 2. Juli 1902; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. P. 1904. i. V. S. 1. — Andere Grünfilter usw. s. Eder, Rezepte und Tabellen f. Photogr. 12. Aufl. 1927. — S. auch „Pina-Handbuch“ der Farbwerke in Höchst a. M.; ferner: Hübl, Die Lichtfilter. 1927.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Violettfilter sind leicht mit dem sehr transparenten Methylviolett in wässeriger Lösung (1:10000) herzustellen; allerdings ist diese Lösung wegen ihrer Lichtunechtheit ziemlich veränderlich und läßt auch Rot durch, das durch Kupferlösungen gelöscht werden kann. — Säureviolett 4B extra in einer Konzentration 1:2000 wirkt ähnlich, ist haltbarer, aber weniger transparent (Differenz 3 Grad Scheiner).

Das Methylviolett ist sehr durchlässig nicht nur für Violett, sondern auch für Ultraviolett; will man letzteres abschneiden, so fügt man 0,1% Äskulin zur Lösung zu. Hiermit wird in 1 cm dicker Schichte das Ultraviolett bis etwa zur Fraunhoferschen Linie *H* absorbiert und bei Naturaufnahmen verlängert sich die Expositionszeit gegenüber dem reinen Methylviolett im Verhältnis von 1 zu $1^1/_2$ (Eder, Phot. Korr. 1903, S. 426; ferner Eder und Valenta, „Beiträge z. Photoch.", 1904. II. S. 161).

Die Gradation einer Bromsilber-Gelatineplatte bei frei einstrahlendem Lichte (Hefnerkerze), sowie hinter blauem ammoniakalischem Kupfersulfat-, sowie Methylviolettfilter ist unter den Bedingungen der praktischen Sensitometrie annähernd die gleiche, ebenso für Metallfadenlampen und Magnesiumlicht mit Glasoptik.

Die Gradation der grünen Zone im Verhältnis jener der blauen Zone weist aber Abweichungen auf, was im Kapitel XI genau beschrieben ist.

Die zur Herstellung von Duplikatnegativen in der Kinoindustrie verwendeten Spezialfilme (Duplikat-Filme) tragen weich arbeitende feinkörnige Bromsilberemulsionen, die einen gelben Farbstoff in der Schichte enthalten, um das tiefere Eindringen des wirksamen blauvioletten Lichtes hintanzuhalten und hiermit das Entstehen weicherer Negative oder Positive zu begünstigen. Schaltet man Violettfilter beim Kopieren ein, so wird (ohne Veränderung der Entwicklungsdauer) unter gewissen Umständen die Gradation verflacht, das Gamma kleiner. Jacobsohn untersuchte diese Vorgänge sensitometrisch (Phot. Ind. 1928, S. 931). Die von der Agfa zu diesem Zwecke in den Handel gebrachten violetten Lichtfilter verlängern die Belichtungszeit um das $2^1/_2$fache (bei Nitralicht) mit Metolentwickler.

IX. Einfluß der Lichtintensität (Exposition) auf die Breite des Transmissions-Spektrums der Lichtfilter.

Alle Lichtfilter zeigen einen mehr oder weniger halbschattenartigen Verlauf der Grenzen ihrer Absorptions- oder Transmissionsstreifen im Spektrum. Je größer die Lichtintensität, je länger die Belichtungszeit ist, desto breiter erscheint die wirksame Spektralzone.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Dies macht sich auch in so einfachen Fällen geltend, wie bei der Zweiteilung des Spektrums durch blaue und gelbe Lichtfilter, ebenso wie bei jeder Art von Dreifarbenfiltern usw.

Die kurze Belichtung bei den gebräuchlichen Sensitometern z. B. mit der Hefnerkerze oder der Scheinerschen Benzinkerze usw. läßt nur die gut durchlässigen Spektralzonen des Lichtfilters wirksam oder „effektiv“ werden (effektive Lichttransmission), und ebenso reagiert bei diesen kurzen Belichtungen nur die dominierende Zone der spektralen Empfindlichkeit einer orthochromatischen Platte („effektive Farbenempfindlichkeit“), worauf Eder 1899 (a. a. O.) hinwies. Bei übermäßig langer Belichtung greifen die durchgelassenen Zonen hinter den blauen und gelben Lichtfiltern übereinander. Falls dies bei den Arbeiten unerwünscht ist, müssen die Lichtfilter durch Erhöhung der Konzentration strenger (konzentrierter) gemacht werden.

X. Verwendung von Dreifarben-Lichtfiltern zur sensitometrischen Plattenprüfung.

Mit der Einführung der panchromatischen Platten in der angewandten Photographie um die Wende des Jahrhunderts machte sich das Bedürfnis nach einer praktischen Empfindlichkeitsprüfung hinter orangeroten, gelben, grünen und blauen Lichtfiltern bemerkbar, wobei man sich an die gebräuchlichen Verfahren der Dreifarbenphotographie anlehnte.

Das orangerote Filter muß Rot, Orange bis Gelb durchlassen, das Grünfilter: Blaugrün, Grün und Gelbgrün bis Gelb, das Blaufilter: das Blau und Violett und den Beginn des Ultraviolett, wobei die Zonen je nach der Absicht der Experimentatoren mehr oder weniger gegeneinander schwanken. — Die hellgelben Filter solcher Farbenfiltersätze aus gefärbter Gelatine lassen außer Gelb (helles Gelb) auch das gesamte Rot, Orange, Gelbgrün und Grün durch und entsprechen im Sinne der vorhin angegebenen Zweiteilung des Spektrums in einer Zone der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers und der Gesamtsensibilisierung, zur Feststellung des Sensibilisierungsfaktors oder der Relation Blau/Gelb usw.

Die Kombination eines Graukeilsensitometers mit derartigen, roten, gelben, grünen und blauen schmalen Streifen von Gelatinelichtfiltern in einer genau quantitativ spektroskopisch definierten Form führte Eder im Jahre 1919 durch die Herausgabe des sog. Eder-Hecht-Graukeilsensitometers durch.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Kurven der quantitativen Lichtabsorption der Gelatinelichtfilter stellte Eder graphisch für sein Sensitometer (in Phot. Korresp. 1920 S. 304; auch Phot. Rundschau beschrieben) in Abb. 103 dar.

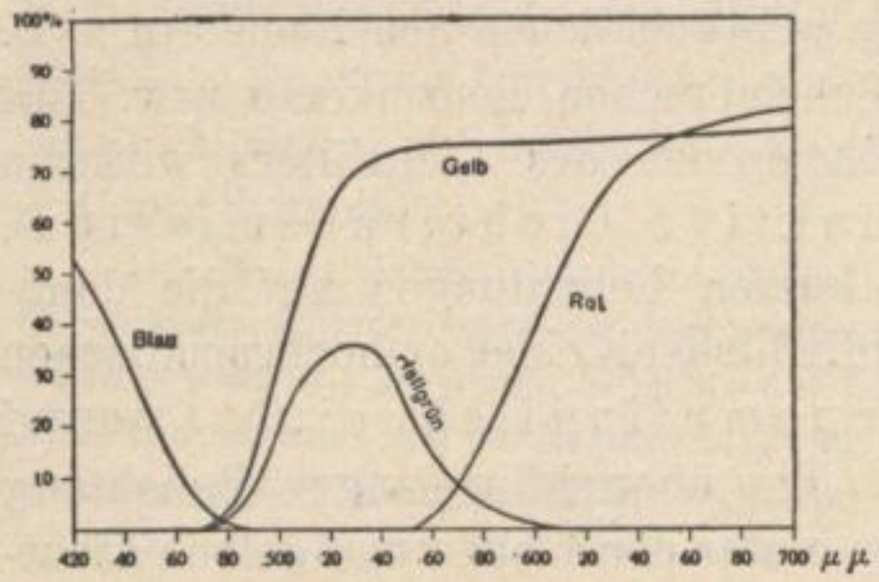


Abb. 103. Lichtdurchlässigkeit von Eders Normalfiltern gegenüber dem Farbenspektrum. Das Rechteck umschließt die Menge des auffallenden sichtbaren Lichtes.

Das Rechteck umschließt die Gesamtmenge des auffallenden Lichtes und die Kurven zeigen das durchgelassene Licht in Prozenten. Sie sind mit einer Metallfadenvakuum-Glühlampe (gegen weißes Papier) ermittelt und charakterisieren diese Lichtfilter.

In der praktischen Sensitometrie bei Verwendung von Magnesiumlicht und den hiermit verbundenen relativ kurzen Belichtungszeiten kann man annehmen, daß die Durchlässigkeit der Gelatinefilter im Eder-Hecht-Sensitometer sich ungefähr auf folgende Spektralzonen erstreckt:

Spektrale Durchlässigkeit der farbigen Gelatine-Filter im Eder Hecht-Sensitometer bei Magnesiumlicht.

	Farbe des Lichtfilters			
	Blau	Grün	Gelb	Rot
Durchgelassene spektrale Hauptzone in Millionstel Millimeter Wellenlänge ($\mu\mu$):	330 bis 485	485 bis 570	485 bis äußerstes Rot	570 bis äußerstes Rot

Die verschiedenartige Transparenz dieser Lichtfilter und die Umrechnung auf ideal transparente Lichtfilter von 100prozentigem Transmissionsvermögen s. S. 279.

Bei verlängerter Exposition verbreitern sich die Spektralzonen, bei kurzen Expositionen werden sie schmäler.

Bei Verwendung von Azetylenlicht oder Glühlampen, welche wenig kurzwelliges Licht aussenden, erlischt mehr oder weniger die Ultraviolett-Wirkung und das Violett kommt weniger zur Wirkung, so daß sie erst bei der Wellenlänge 450 oder 460 in die Erscheinung tritt.

Bei allen derartigen Sensitometern mit Blau-, Gelb-, Grün- und Rotfiltern ist das Empfindlichkeitsverhältnis von Blau

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

zu Gelb wichtig für die Beurteilung der gesamten optischen Sensibilisierung farbenempfindlicher Platten. — Andererseits ergibt sich das Verhältnis der Empfindlichkeit hinter blauen und grünen Filtern, sowie vom blauen zum roten Filter und das sich daraus ergebende Verhältnis der Grün- zur Rotempfindlichkeit.

Dies geht aus den von Eder 1920 publizierten zahlreichen Tabellen hervor, welche auch für das XIX. Kapitel des vorliegenden Buches Verwendung fanden. Es ergibt sich nach der Umrechnung der Lichtfilter auf ideale Tranzparenz die selbstverständliche Tatsache, daß

1. orthochromatische Platten annähernd das gleiche Empfindlichkeitsverhältnis von Blau- zu Grün- und Rot-, wie andererseits zu Gelbfiltern zeigen, weil das durch das Gelbfilter hindurchdringende rote Licht bei solchen Platten fast wirkungslos ist.

2. Panchromatische Platten zeigen eine wesentlich erhöhte Lichtempfindlichkeit hinter dem gelben Lichtfilter gegenüber dem grünen Lichtfilter und

3. bei rotempfindlichen Spezialplatten dominiert die Rotempfindlichkeit gegenüber einer sehr kleinen Grünempfindlichkeit.

Alle diese Angaben behalten nur dann ihre Gültigkeit, wenn die Transparents der farbigen Gelatinefolien auf die ideale 100prozentige Transparenz umgerechnet worden war.

Weiter ergibt sich ohne weiteres aus den oben gemachten Ausführungen und der mitgeteilten Tabelle der Durchlässigkeit der Farbenfolien im Eder-Hecht-Sensitometer, daß die Summe der Empfindlichkeit hinter dem Grün- und Rotfilter annähernd denselben Wert für die Gesamtsensibilisierung ergibt, die man aus der direkt bestimmten Relation der Empfindlichkeit hinter Blau- und Gelbfilter ermittelt und auf ideale Transparenz reduziert hat. Oder mit anderen Worten: Die Differenz der photographischen Wirkung hinter dem gelben und roten Lichtfilter des Sensitometers ergibt die Wirkung hinter dem grünen Filter. Solche differentielle Messungen sind aber ungenau und schwankend; sie geben jedoch orientierende Näherungswerte.

X. Zerlegung des Spektrums in zehn oder sechs schmale Zonen durch Gelatinefilter.

Es liegt die Idee nahe, mittels Teerfarbstoffen (Gelatinefilter) die Separation mehr oder weniger zahlreicher einzelner schmaler Teile des Spektrums vorzunehmen und dadurch ein künstliches Spek-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

trum mit schmalen Farbzonen zu erzeugen; die einzelnen Teile können durch entsprechende Abschwächung z. B. der Farbenverteilung des Sonnenspektrums ähnlich gemacht werden. — Als Beispiel einer experimentellen Durchführung dieser Methode sei auf die Arbeiten des Wiener Astronomen Adolf Hnatek verwiesen, der auf diesem Wege das sichtbare Spektrum in zehn Zonen teilte, deren Transmission bestimmte und hiermit (unter Anwendung eines Röhrenphotometers) die Abhängigkeit des Schwarzschildschen Exponenten p von der Wellenlänge bestimmte (Zeitschr. f. wisssenschaftliche Photographie 1915, Bd. 15, S. 133; 1916, Bd. 15, S. 271; 1917, Bd. 16, S. 201; 1923, Bd. 22, S. 177). Auch K. S. Gibson (Journ. Optic. Soc. America 1926, Bd. 13, S. 2677) und andere beschreiben derartige Spektralfilter.

P. V. Neugebauer konstruierte auf Grund dieser Idee ein „Farbensensitometer“ mit 6 verschiedenfarbigen Gelatinefiltern mit schmalen Durchlässigkeitszonen und Angabe der Filterabsorption (Phot. Rundschau 1923, S. 12) und des Helligkeitswertes der Farben. Er wollte hiermit einen Ersatz für die Benützung eines Spektrographen schaffen, der aber unvollkommen und nicht viel wert ist[1]).

Hierher gehört auch die „Panchrome colour sensitivity test plate“, die von der E. S. S. Colour Filter Co. in London (W. C. 1. Montague-Street) erzeugt wird und einen Graukeil mit sechs verschiedenen Farbenstreifen fix verbunden besitzt (Brit. Journ. Phot. 1929, S. 80).[2])

XI. Lichtfilter für Aerophotographie.

Über die Eigenschaften der zur Aerophotographie (Luftbildaufnahmen) geeigneten Lichtfilter und Plattensorten s. „Aerial haze and its effect on photography from the air“ (Monographs on the theory of photography from the Research Laboratory of the Eastman Kodak Co. Nr. 4, 1923, D. Van Nostrand Co. New York). — Ferner „Aerial photography“ von Clarence Winchester und F. L. Willis, London 1928. Chapman & Hall, London. 11. Henrietta Street W. C. 2. — Über „spektrale Eigenschaften der Lichtfilter für Aerophotographie“ s. Ferd. Leiber (Phot. Indust. 1928, S. 1023).

---

1) Eine ungünstige Kritik der von Neugebauer mit diesem Instrument vorgenommenen sensitometrischen Prüfungen gab Emmermann (Phot. Chronik 1927, S. 208, ferner Phot. Ind. 1927, Heft 29), was in dem Artikel Eders „Irrwege und Mißverständnisse“ weiter ausgeführt wird.

2) Lichtfilter für die Isolierung eng begrenzter Spektralgebiete beschrieb Loyd A. Jones (Phot. Indust. 1928, S. 1274. Mitteilung Nr. 335 des Kodak-Untersuchungslaboratoriums).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

XII. Filter zur Überführung von Normal-Licht in die Energieverteilung von mittlerem Mittags-Sonnenlicht.

Hierüber s. Kapitel XV.

XIII. Synthetisches weißes Licht. — Tageslicht-Lampen für graphische Zwecke.

Man kann auch versuchen, „rein weißes" Licht durch Synthese aus den drei „Grundfarben" herzustellen, aber die Lichtverluste hierbei sind sehr groß.

Das Verhältnis von Rot, Grün und Blau in synthetischem weißen Licht bestimmte A. H. Taylor. (Proportions of red, green and blue in synthetic white light. Journ. Frankl. Inst. 203, 583, 1927 Nr. 4.) Wird weißes Licht durch optische Mischung von farbigem Licht unter Verwendung von Farbscheiben hergestellt, so werden höchstens 3—5% des Lichtes der Lichtquellen ausgenutzt. — Zum Beispiel ergibt sich bei Verwendung von Nitralampen als Lichtquelle und dreier Farbscheiben, nämlich Hellrot, Dunkelgrün und Dunkelblau von Durchlässigkeiten von bzw. 10 Prozent, 3 Prozent und 1 Prozent ein Anteil dieser Lichtarten in weißem Licht von bzw. 32 Prozent, 57 Prozent und 11 Prozent und ein Anteil der Energie der für die einzelnen Farbgläser benutzten Lichtquellen von bzw. 5 Prozent, 63 Prozent und 32 Prozent (Phot. Ind. 1927, S. 1321).

XIV. Tageslichtlampen für industrielle Zwecke.

Es kommen auch verschiedene Sorten von „Tageslicht-Metallfadenlampen" aus der Elektroindustrie in den Handel, bei denen die Glaskugel aus bläulichem Glas hergestellt ist, wodurch das zu starke Rot des Lichtes gedämpft wird; man verwendet sie in der Farbendruckindustrie (Chromolithographie usw.), in der Färberei oder in Verkaufsstellen bunter Objekte zwecks visueller Beobachtung und Farbenvergleichung.

Sie sind nicht ohne weiteres zu exakten Messungen in der photographischen Industrie verwendbar, wenn sie sich auch entschieden günstiger verhalten als dieselbe Metallfadenlampe mit farblosen Gläsern.

Es erfolgt einigermaßen eine Annäherung an das Tageslicht, wenn man Halbwattlampen mit Gasfüllung und bläulichem Glase verwendet.

Herstellung von Tageslicht-Lampen für Zwecke der Textilindustrie und des Farbendruckes.

Die Herstellung und die Eigenschaften von „Tageslichtfiltern" ist auch für die Textilindustrie von großem Interesse und die Arbeitsbestrebungen laufen parallel mit denen der Photochemiker. Es ist deshalb wichtig, von diesen Arbeiten Kenntnis zu nehmen und wir teilen die bedeutendste Publikation auf diesem Gebiete, die von Dr. Hermann Weisz herrührt, nach der „Leipziger Monatsschrift für Textilindustrie" (1924, Bd. 39, Heft 9), worin sie erschien, mit:

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

An dem Zustandekommen der Farbe als Empfindung sind eine Anzahl von objektiven und subjektiven Momenten beteiligt. Handelt es sich um Anfärbungen [1]), so ist eines der sie bestimmenden objektiven Momente die Beleuchtung, bei welcher die Anfärbung betrachtet wird. Je nach Art und Intensität derselben ist die von der gleichen Anfärbung ausgelöste farbige Empfindung verschieden, siehe den Einfluß künstlicher, in extremen Fällen monochromatischer Beleuchtung auf die Farbe von Anfärbungen. Dieser Umstand bleibt auch den berufsmäßig mit Farben, Farbstoffen und Anfärbungen Arbeitenden interessanterweise nicht immer bewußt, so stark wirkt das in Wissenschaft und Praxis als selbstverständlich stillschweigend geschlossene Übereinkommen, Farben und Farbenvergleiche auf Tageslicht als Beleuchtung zu beziehen. Der gleichen Quelle entstammt die verbreitete — im wissenschaftlichen Sinn naive — Auffassung, daß die Farbe etwas einem Gegenstand unveränderlich Anhaftendes sei, etwa wie sein Gewicht, und daß zum Erkennen dieser, der „richtigen" Farbe auch das „richtige Licht" gehöre, wobei unter „richtigem Licht" stillschweigend helles, zerstreutes Tageslicht gedacht wird.

Eines der subjektiven Momente, welche das Zustandekommen der Farbe als Empfindung bestimmen, ist die von Helmholtz als „Farbenstimmung des Auges" bezeichnete Gruppe physiologischer Eigenschaften unseres Sehapparates. Beiden Momenten, der Beleuchtung und der Farbenstimmung des Auges kommt für das Problem des Musterns bei künstlichem Licht entscheidende Bedeutung zu.

Die Fähigkeit des Auges, sich der absoluten Helligkeit der Umgebung anzupassen, seine Fähigkeit zur Hell- und Dunkel-Adaptation, wie Helmholtz sie nennt, ist allgemein bekannt. Weniger bekannt ist seine Fähigkeit, sich auch der Farbe der Umgebung anzupassen, sich nach ihr zu „stimmen". Beispielsweise gilt uns das zerstreute Tageslicht als weiß, und im Vergleich zu diesem Weiß haben am Tag brennende Metallfadenlampen eine Farbe, die man am besten als orange bezeichnet. Es besteht somit kein Zweifel, daß Schnee, von Metallfadenlampen beleuchtet, orange ist. Gleichwohl wird niemand bei Straßenbeleuchtung in der Nacht Schnee als orange bezeichnen, sondern als weiß. Wird die Eigenfarbe einer Lichtquelle, wie z. B. das Orange einer Metallfadenlampe, als „Lichtfarbe" der Lichtquelle bezeichnet, so kann man sagen, daß Weiß und Schwarz, wenn sie von Lichtquellen verschiedener Farbe beleuchtet werden, weiß und schwarz bleiben, oder mit anderen Worten, daß das Auge die Fähigkeit besitzt, sich je nach der Lichtfarbe der Beleuchtung so zu stimmen, daß Weiß weiß bleibt. Diese Eigenschaft des Auges enthüllt ihre Bedeutung für das Sehen von Farben dann, wenn die Möglichkeit gegeben ist, mit einem z. B. auf Lampenlicht gestimmten Auge von Tageslicht beleuchtete Anfärbungen zu sehen oder umgekehrt. Um zuerst beim Weiß zu bleiben, so erscheint einem auf Lampenlicht gestimmten Auge ein von Tageslicht beleuchtetes Weiß als Blau, und zwar als um so blauer, je röter das Lampenlicht ist. Man kann das gut beobachten, wenn man bei Dämmerung im Freien unter brennenden Bogenlampen hin gegen eine weiße Hausmauer, oder gleichfalls bei Dämmerung, aus der Mitte des hell erleuchteten Zimmers zum Fenster hinausblickt. Das Blau, welches so gesehen wird, ist streng komplementär zu jenem Orange, in dem das Lampenlicht dem auf Tageslicht gestimmten Auge erscheint [2]). Um zu den bunten Farben

---

1) Das Wort „Anfärbung" wird im Titel und im Text als Bezeichnung für das dem gewerblichen Mustern unterliegende Material etwa in dem Sinn gebraucht wie das Wort „Körperfarbe" in der Physik.

2) Dies wird für selbstverständlich gehalten, wie auch für selbstverständlich erachtet wird, daß das zerstreute Tageslicht weiß ist, während das Lampenlicht nur

überzugehen, so erscheinen einem auf Lampenlicht gestimmten Auge alle mit Tageslicht beleuchteten Anfärbungen zu blau, einem auf Tageslicht gestimmten Auge alle mit Lampenlicht beleuchteten Anfärbungen zu rot. Dies führt zu einer Erkenntnis, die beim Mustern bei künstlichem Licht nie außer acht gelassen werden darf:

Nur bei gleicher Farbenstimmung ist das Auge befähigt, eine Anfärbung unter objektiv gleichen Umständen als gleich gefärbt zu erkennen.

Während das Auge, wie ausgeführt, die Fähigkeit besitzt, sich so zu stimmen, daß Weiß weiß (und Schwarz schwarz) bleibt, besitzt es die gleiche Fähigkeit in bezug auf die bunten Farben nicht. Die Erscheinung, welche hier vorliegt, muß man vielmehr, mit Einbeziehung der Farbenstimmung, richtig wie folgt beschreiben: Eine mit auf Tageslicht gestimmtem Auge bei Tageslicht betrachtete Anfärbung vom Farbton, z. B. Violett, wird bei Lampenlicht mit auf Lampenlicht gestimmtem Auge als vom Farbton Purpur gesehen (Mustern eines einzigen Farbtons, absolutes Mustern). Und: zwei mit verschiedenen Farbstoffen oder Farbstoffmischungen gefärbte Anfärbungen, welche mit auf Tageslicht gestimmtem Auge bei Tageslicht betrachtet den gleichen Farbton, z. B. Karminrot, besitzen, werden bei Lampenlicht mit auf Lampenlicht gestimmtem Auge als im Farbton sowohl gegen Tageslicht als auch untereinander verschieden, z. B. als Zinnoberrot und Lachsrot, gesehen (Mustern zweier Farbtöne, relatives Mustern). Der letztere Fall, der des relativen Musterns, ist der in der Praxis immer wieder vorkommende und ihr insbesondere geläufige [1]).

Die Fähigkeit der Anpassung, welche das Auge in bezug auf das Weiß weitgehend besitzt, ist in bezug auf die bunten Farben für das praktische Bedürfnis nicht ausreichend, jedoch keineswegs Null. Hierüber, sowie über die Bedeutung der Farbenstimmung des Auges für das Verständnis des gesamten Problems wird später das Nötige noch gesagt werden. Um die für das Mustern bei künstlichem Licht geeigneten Hilfsmittel zu erörtern, genügt es, auf Grund des bisher Gesagten klarzustellen, daß Mustern bei künstlichem Licht heißt, sich die Aufgabe stellen, beliebige, bunte, künstlich beleuchtete Anfärbungen so zu sehen, wie sie bei Tageslicht mit auf Tageslicht gestimmtem Auge gesehen werden. Aus der hiermit gewonnenen Formulierung geht hervor, daß nicht notwendig die Lösung der Aufgabe so gesucht zu werden braucht, daß ein „künstliches Tageslicht" gefunden werde, welches dem natürlichen gleich und dieses zu ersetzen geeignet sei, vielmehr würde eben die gegebene Formulierung dazu einladen, auf Grund farbenphysiologischer Versuche die Bedingungen zu suchen, unter denen wie verlangt gesehen wird. Nach dieser Richtung liegen, soviel bekannt, Erfahrungen nicht vor. Dagegen ist von verschiedenen Seiten der rein physi-

---

weiß scheint. Diese Selbstverständlichkeit zerfließt aber in nichts, wenn man bedenkt, daß unsere Sonne ein gelber Stern ist, und daß wir rote, gelbe und blaue Sterne kennen. Es wird angenommen, daß unter diesen die blauen die höchste, die roten die niedrigste Temperatur besitzen. Irgendwo dazwischen sollte die Temperatur liegen, die einem weißen Stern entsprechen würde, der unsere Sonne aber nicht ist. Gemäß dieser Überlegung wäre unser Tageslicht nicht weiß, sondern schiene nur weiß, weil unsere Augen seit Jahrtausenden an dieses Licht gewöhnt, auf dasselbe insbesondere gestimmt sind. Die Frage, was ist weiß, bleibt aber offen.

1) Das von der Praxis häufig empfundene Bedürfnis nach Anfärbungen, die bei Tages- und Lampenlicht möglichst unverändert den gleichen Farbton aufweisen sollen, hat mit der Aufgabe des Musterns bei künstlichem Licht nichts zu tun.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

kalische Weg beschritten und versucht worden, ein „künstliches Tageslicht“ zu verwirklichen, um mit seiner Hilfe die Bedürfnisse der Praxis zu befriedigen.

Die Theorie des künstlichen Tageslichts ist von dem Amerikaner Herbert E. Ives 1912 gegeben worden: die Strahlung der Sonne entspricht nach den neuesten Messungen der Strahlung eines schwarzen Körpers von der Temperatur etwa 6000° C, während die höchste bekannte irdische Temperatur, die des elektrischen Lichtbogens, bei etwa 4000° C liegt. Der höheren Temperatur der Sonne entspricht eine andere Verteilung der Lichtintensität in ihrem Spektrum; das Sonnenlicht ist vergleichsweise reicher an kurzwelligen, violetten und blauen Strahlen oder mit anderen Worten dasselbe gesagt, vergleichsweise ärmer an langwelligen, grünen, gelben und roten Strahlen als die irdischen Lichtquellen [1]).

Da kein irdisches Mittel bekannt ist, den Gehalt der künstlichen Temperaturstrahlen an violetten und blauen Strahlen über dendes Bogenlichts hinaus zu vermehren, so kann man das künstliche Licht dem Sonnenlicht nur dadurch nähern, daß man seinen Gehalt an grünen, gelben und roten Strahlen vermindert. Dies geschieht durch Filter, welche diese Strahlen absorbieren, also allgemein von blauer bis blaugrüner Farbe sind.

Herbert E. Ives hat seine Messungen [2]), dem damaligen Stand der Beleuchtungstechnik entsprechend, an der 1 Watt-Metallfadenlampe gemacht, diese also gegen Tageslicht spektrophotometrisch gemessen. Um diese Messungen aufeinander zu beziehen, ist es nötig, die Intensitäten des Tageslichts und der künstlichen Lichtquelle an einer Stelle des Spektrums willkürlich einander gleichzusetzen. Dies kann im Prinzip an jeder Stelle des Spektrums geschehen. Sollen aber auf Grund der Messungen an der Lichtquelle Lichtfilter gefunden werden, die das Licht der Lichtquelle in Tageslicht überführen (Tageslichtfilter), so ist eine Festsetzung darüber zu treffen, von welcher Stelle des Spektrums an das Lichtfilter alles Licht durchlassen soll. Es ist von vornherein klar, daß diese Stelle im kurzwelligen Teil des Spektrums liegen und daß die Annäherung an Tageslicht um so weiter getrieben wird, je weiter gegen das violette Ende des Spektrums zu man diese Stelle verlegt. Ives fand, daß eine genügende Annäherung erreicht wird, wenn das Filter von $\lambda = 420$ an alles Licht durchläßt, und setzte dementsprechend die Intensitäten von 1 Watt-Lampe und Tageslicht an dieser Stelle einander gleich. Einer übersichtlichen graphischen Darstellung zuliebe setzte er ferner die Intensität des Tageslichts an jeder Stelle des Spektrums gleich und gleich eins und gelangte so zu Diagrammen von der in Abb. 104 gegebenen Form. In diesem Diagramm ist Tageslicht durch die zur Abszissenachse parallele Gerade 1, das Licht der Vakuum-Metallfadenlampe durch die Kurve 2 dargestellt. Bei $\lambda = 420$ sind die Intensitäten der beiden Lichtquellen einander gleich und gleich 1 gesetzt; bei $\lambda = 500$ ergibt sich dann die Intensität der Lampe 3 mal, bei 600 9 mal, bei 680 18 mal so groß als die der Sonne. Die Kurve 3 gibt die aus Kurve 2 abgeleitete Kurve des Tageslichtfilters der Vakuum-Metallfadenlampe, welches bis $\lambda = 420$ alles Licht der Lampe = 100%, durchläßt, bei $\lambda = 500$ 33%, bei $\lambda = 600$ 11%, bei $\lambda = 680$ 5%. Das durch Kurve 3 und die entsprechenden Zahlenwerte definierte Tageslichtfilter nennt Ives „ideales Tageslichtfilter“ der Vakuum-Lampe.

---

1) Es ist selbstverständlich, daß der absolute Wert der Intensität der Sonnen-Strahlung auch im Rot die absolute Intensität der irdischen Lichtquellen um ein Vielfaches übertrifft. Die obige Feststellung bezieht sich auf einen Vergleich, wenn man die absoluten Intensitäten an einer Stelle des Spektrums willkürlich gleich setzt.

2) Ives und Luckiesh, Electrical World 1912.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Um Tageslichtfilter zu verwirklichen, untersuchte Ives spektrophotometrisch eine Anzahl von Farbstoffen und Farbgläsern und fand die organischen Farbstoffe zu diesem Zweck wegen ihrer scharfen Absorptionsbänder ungeeignet. Farbgläser aber wegen ihrer im allgemeinen stetigen Absorptionsspektren geeignet. Das Ivessche Tageslichtfilter für die Vakuum-Metall-Fadenlampe besteht „aus einem blauen und einem blaugrünen Farbglas und aus einer mit einem roten Farbstoff angefärbten Schicht".

Das Ivessche blaue Glas ist Kobalt, sein blaugrünes Glas Kupferoxydglas. Diese Kombination liegt allen späteren Tageslichtfiltern ohne Ausnahme zugrunde und geht auf Ives zurück.

Abb. 105 gibt das Ivessche Tageslichtfilter für die Vakuum-Metallfadenlampe gemäß seinem Originaldiagramm [1]) wieder.

Die durch die Kurven 2 und 3 der Abb. 105 gegebenen Absorptionen der beiden Gläser verlaufen stetig und ergänzen sich gegenseitig zu dem gewünschten Effekt

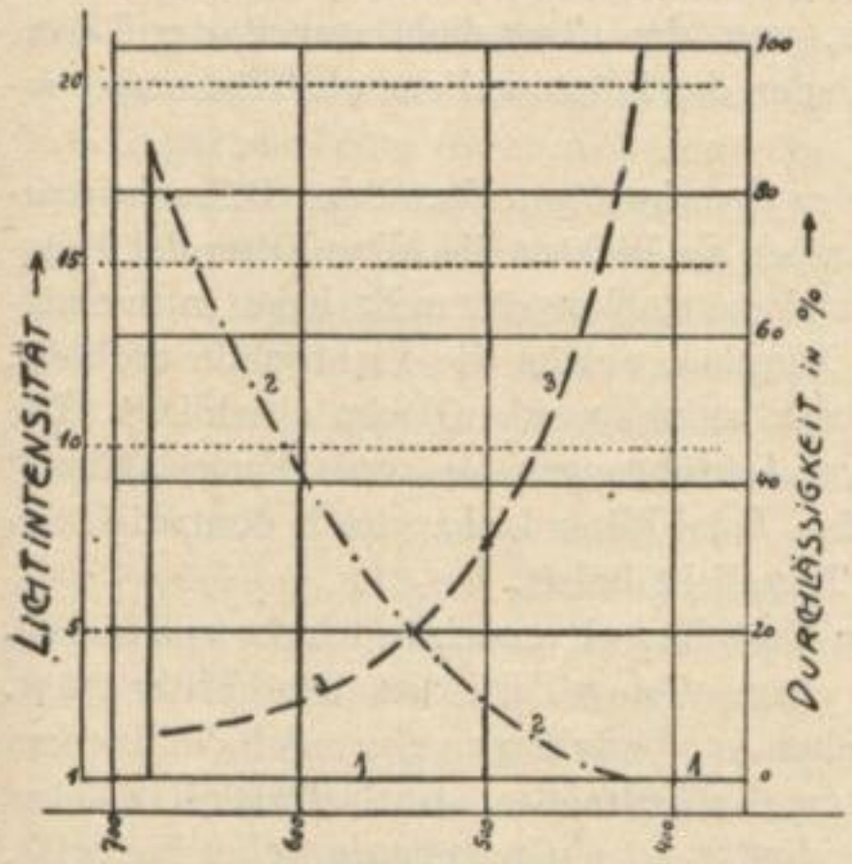


Abb. 104.

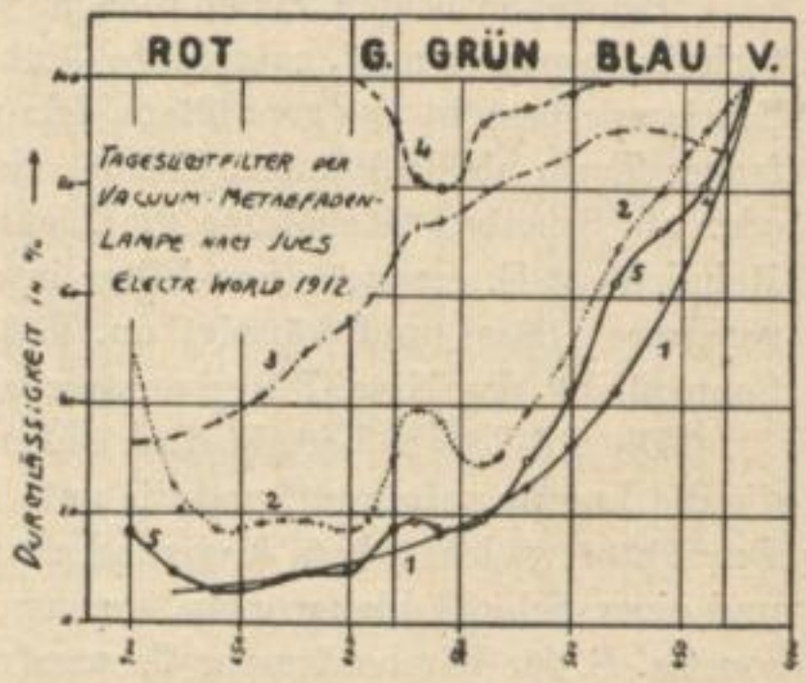


Abb. 105.

bis auf das breite Band unstetiger und erhöhter Durchlässigkeit, welche das Kobaltglas im Grün und Gelb, zwischen den Wellenlängen 540 und 600, besitzt und das bei $\lambda = 570$ kulminiert. Mit Rücksicht auf dieses Band ist das durch die Gläserkombination allein gefilterte Licht der Vakuum-Lampe grün, und man muß, sagt Ives, eine selektiv absorbierende Farbstoffschicht von der durch Kurve 4 gegebenen Absorption hinzunehmen, welche dieses Grün dämpft.

Die durch Kurve 5 dargestellte Absorption der Kombination aller 3 das Filter zusammensetzenden Schichten schließt sich nur zwischen den Wellenlängen 540 und 560 im Grün und dann von 590 bis 660 im Gelb und Rot der durch 1 gegebenen Kurve des idealen Filters unmittelbar an. Zwischen 440 und 530 im Violett, Blau und Blaugrün, dann im Grüngelb zwischen 560 und 590, endlich im äußersten Rot zwischen 660 und 700 weicht sie merklich von ihr ab und zwar läßt sie mehr als theoretisch erlaubt von diesen Spektralbezirken durch. Das Filter würde, wie Ives

---

1) loco citato.

betont, nicht richtig sein, wenn diese 3 Bezirke zu großer Durchlässigkeit nicht so gewählt wären, daß sie im Blau, Grün und Rot liegen und sich wie die Dreifarben-Filter in der Farbenphotographie zu einem additiven Weiß ergänzen.

Soweit Ives. Er hatte hiermit die Theorie des künstlichen Tageslichts vollständig entwickelt und die wertvollsten Hinweise für seine experimentelle Verwirklichung gegeben. Es kann nicht zweifelhaft sein, daß das Ivessche ideale Tageslichtfilter, in die Verwirklichung übertragen, ein künstliches Tageslicht liefern wird, welches in physikalischer Hinsicht dem zerstreuten Sonnenlicht vollständig gleicht, wenigstens was die sichtbare Strahlung anbelangt, und es wäre, da die Theorie feststand, naheliegend gewesen, wenn die Technik bestrebt gewesen wäre, bewußt auf der Theorie fußend, dem idealen Filter möglichst genäherte, gewerblich verwendbare, technische Filter hervorzubringen. Dies war indessen nicht der Fall. So viele technische Lösungen in Form von Tageslicht-Lampen seit 1912 auch versucht worden sind, so ist doch keine derselben mit den Forderungen der Theorie im Einklang, was an den beiden jüngsten Tageslichtlampen deutscher Provenienz, der „Reinlicht-Lampe" der Reinlicht A.-G. in München, und der „Tageslichtlampe" der Tageslichtlampe G. m. b. H. in Berlin (im folgenden der Kürze zuliebe als TB-Lampe bezeichnet) gezeigt sei.

Bei diesen beiden Typen dienen, wie es dem heutigen Stand der Beleuchtungstechnik angemessen ist, gasgefüllte Glühlampen als Lichtquelle. Das Filter der Reinlichtlampe besteht aus gepreßtem, fein mattiertem, blaugrünem Farbglas in mannigfacher Form als Halbkugel, Schale oder Muschel, welche die Lichtquelle umhüllt, oder als Scheibe, welche eine die Lichtquelle aufnehmende Glocke abschließt. Die Reinlicht-A.-G. erzeugt diese Filter in zwei Ausführungen als „Solal" und „Nival" genannte Gläser und kündigt an, daß das Solal-Filter Licht gleich dem direkten Sonnenlicht, das Nival-Filter zerstreutes Tageslicht liefert.

Die TB-Lampe besteht ihrer äußeren Gestalt nach aus einer Glocke aus Metall, die die Lampe aufnimmt, und die auf der einen offenen Seite das ebene Filter trägt. Das Filter, welches stets kreisrund und eben ist, besteht aus einer Schicht blauem und einer Schicht blaugrünem, sogenanntem Kathedralglas. Kathedralglas, welches sonst z. B. für Kirchenfenster Verwendung findet, ist ein gegossenes, rohes Farbglas, das behufs Herstellung einer rauhen, geriffelten Oberfläche auf einer mit Riffeln versehenen Platte gegossen oder mit einer ebensolchen Walze überwalzt wird. Zur Filterherstellung wird aus einer Tafel Kathedralglas ein kreisrundes Stück ausgeschnitten und dieses mit dem Diamanten in Streifen von etwa 6 cm Breite geteilt. Die wie geschnitten zusammengelegten Streifen, und zwar die blauen Streifen längs, die grünen quer, werden mit einem Bleistreifen zusammengefaßt und bilden das Filter.

Abb. 106 zeigt in der Ivesschen Darstellung, wie sie in Abb. 105 eingeführt wurde, als

Kurve 1 die Absorptionskurve des idealen Filters einer gasgefüllten Glühlampe,
„ 2a „ „ „ Solalglases,
„ 2b „ „ „ Nivalglases,
„ 3 „ „ „ Filters der TB-Lampe nach spektrophotometrischen Messungen des Verfassers.

Wie man durch unmittelbaren Vergleich der Kurve 2a, Abb. 106 und der Kurve 3, Abb. 105 sieht, ist das Solalglas reines Kupferoxydglas; das Nivalglas ist Kupferoxydglas mit wenig Kobalt, was sich aus seinem für Kobalt typischen Durchlässigkeits-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

band im Grün ergibt. Von einer das Sonnenlicht nachahmenden Wirkung des Solalglases oder einer das Tageslicht nachahmenden Wirkung des Nivalglases kann, wie die Absorptionskurven im Vergleich mit der Kurve des idealen Filters erweisen, nicht die Rede sein.

Das Filter der TB-Lampe besteht nach den (nicht eingezeichneten) Absorptionskurven der Einzelschichten aus je einer Schicht Kobalt- und Kupferoxydglas. Für dasselbe trifft zu, was früher bei I v e s ausgeführt wurde, daß diese Kombination wegen des mehrfach erwähnten Durchlässigkeitsbandes ein grünes Licht gibt.

Die Filter dieser beiden neuesten deutschen Tageslichtlampen bedeuten also gegenüber dem klaren Ergebnis der I v e s schen Arbeiten einen Rückschritt: die eine Lampe begnügt sich mit einer, die andere mit zwei der von I v e s angegebenen drei absorbierenden Schichten. Der Grund hierfür liegt nicht in Unkenntnis der I v e s schen Arbeiten, sondern zunächst in technischen Schwierigkeiten bei der Herstellung der Lampenfilter: ein Anpassen von Farbglas an einen bestimmten gewünschten Farbton (oder bestimmte, zahlenmäßig festgesetzte Absorptionswerte), wie die Herstellung von Tageslichtfiltern es verlangt, kann nämlich nur bewirkt werden entweder durch Änderung der Zusammensetzung des Glasflusses oder durch Änderung der Dicke der Glasschicht. Praktisch gesprochen kommt man darauf hinaus, daß man die Dicke eines annähernd richtig gefärbten Glasflusses geeignet zu wählen hat. Rechnet man die erforderliche Genauigkeit der Anpassung des Farbtones in Glasdicken um, so gelangt man zu der Forderung, daß die Dicke des Farbglases bei den praktisch in Betracht kommenden Glasdicken von 2—4 mm auf 0,1—0,2 mm genau getroffen werden muß. Die Filter der im Handel befindlichen Tageslichtlampen bestehen nun, wie bei den vorigen Beispielen bereits erwähnt, aus gepreßtem oder gegossenem, im übrigen unbearbeitetem Farbglas. Beim Pressen oder Gießen des Glases das Einhalten einer bestimmten Dicke mit solcher Genauigkeit zu gewährleisten, ist schlechterdings unmöglich. Wohl tritt dadurch, daß die Filter mattiert oder geriffelt ausgeführt werden und das Licht zerstreuen, ein gewisser Ausgleich des Dickenfehlers ein, indem ein Punkt des beleuchteten Objektes von allen Punkten des Filters Licht empfängt, jedoch sind hinreichend genau getönte Filter schon wegen des Dickenfehlers allein — von der fehlenden Farbstoffschicht ganz abgesehen — auf diesem Wege nicht zu erzielen und es bleibt Sache des Zufalls, wie das Filter schließlich ausfällt. Solange die Technik der Filterherstellung sich also mit gepreßtem oder gegossenem Farbglas begnügt, können an und für sich wegen der Mangelhaftigkeit dieses Verfahren nur g r o b e A n n ä h e r u n g e n an künstliches Tageslicht erzielt werden. Gleichwohl werden derartige „Tageslichtlampen", die diese Bezeichnung mit Unrecht führen, aus gleich zu erörternden Gründen als Hilfsmittel für das Mustern bei künstlichem Licht vielfach hingenommen. Dies wieder scheint zu der Annahme verführt zu haben, daß es auf eine physikalisch einwandfreie Nachbildung des Tageslichts für die hier vorliegenden Zwecke gar nicht ankomme und daß mit zwei oder auch nur mit einer der Ives'schen

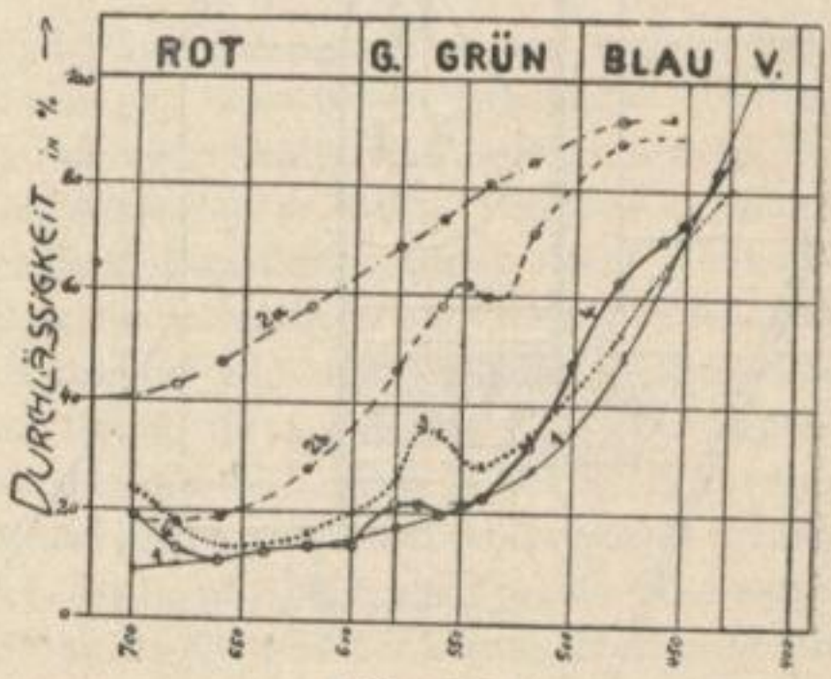


Abb. 106.

Filterschichten und einer primitiven Anpassung derselben eben auch das Auslangen gefunden werden könne.

Hier ist der Ort, auf die Bedeutung der Farbenstimmung des Auges für das richtige Verständnis des gesamten Problems einzugehen. Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß vermöge der Farbenstimmung ein von künstlichem Licht, d. h. von gewöhnlichem Lampenlicht, beleuchtetes Weiß dem auf Lampenlicht gestimmten Auge als Weiß erscheint. Die Lichtfarbe des Lampenlichtes ist, soweit Temperaturstrahler in Betracht kommen, rötlich bis gelb, also vom weißen Tageslicht nicht zu weit. Man darf dem gesunden Auge beträchtlich mehr zumuten. Beispielsweise vermögen die gelben, blauen, grünen, stark gefärbten sogenannten Sonnengläser der Schnee-, Gletscher- oder Schutzbrillen, wenn man sie nur längere Zeit trägt, nicht zu bewirken, daß Weiß anders als Weiß gesehen wird. Selbst an das Licht der Quecksilberdampflampe „gewöhnt man sich". Allgemein gesprochen wird die durch Tageslicht ausgelöste Farbenstimmung, wie selbstverständlich, als die natürliche empfunden, in sie kehrt das Auge, wenn es anders gestimmt war, besonders leicht zurück. Andere Farbenstimmungen legen um so mehr Zwang auf, je weiter das Licht vom Tageslicht absteht. Bei allzu großer Verschiedenheit (Natriumlicht, photographisches Dunkelzimmer) gelingt die Farbenstimmung nicht mehr, solches Licht wird, auch wenn es genügend hell ist, als unangenehm empfunden. Es darf daher nicht wundernehmen, wenn die Farbenstimmung da, wo die Beleuchtung sich dem Tageslicht auch nur einigermaßen nähert, besonders leicht fällt, das heißt, daß das Licht der im vorigen geschilderten unzulänglichen „Tageslichtlampen" neben anderen künstlichen Lichtquellen als weiß empfunden wird. Es kommt hinzu, daß dem Auge die Fähigkeit abgeht, Unterschiede in der Lichtfarbe von Lichtquellen ohne Hilfsmittel zu beurteilen, und zwar weil es, von einer Lichtquelle zur anderen blickend, gleichzeitig von einer Stimmung in die andere übergeht. Dies ist der Grund, warum auch Fachleute, wenn sie auf diesem Gebiet nicht besonders geschult sind, eine ihnen als „Tageslichtlampe" dargebotene Lampe zunächst einnehmen.

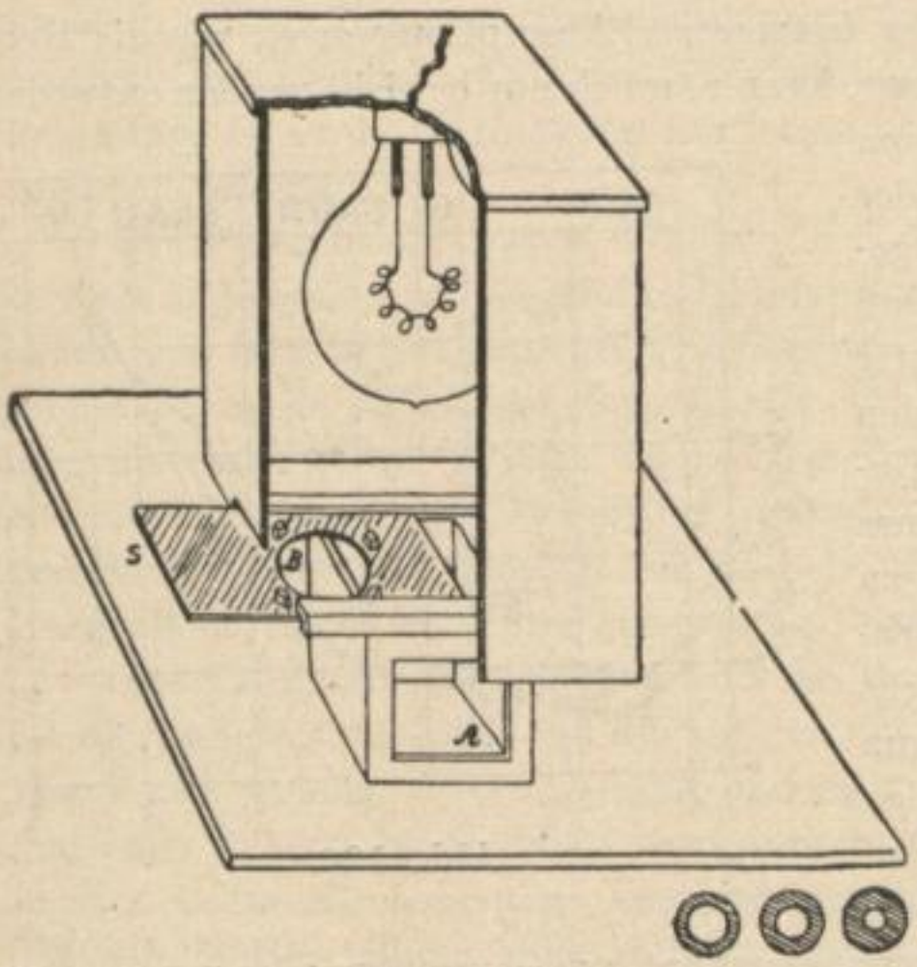


Abb. 107.

Verfasser hat für die hierher gehörigen Versuche und Demonstrationen ein Hilfsmittel angegeben, das Abb. 107 zeigt. Ein Kasten der gezeichneten Form, leer, unten offen, innen sorgfältig mit reinem, weißem Zeichenpapier bespannt, besitzt eine Vorderwand, die wie gezeichnet ausgeschnitten ist. Der Kasten nimmt die zu prüfende Lampe auf und wird auf einen mit weißem Papier belegten Tisch ins taghelle Zimmer gestellt. Das den Tisch bedeckende Papier erscheint dann außen vom Tageslicht, im Innern des Kastens von dem zu prüfenden Licht beleuchtet, welches im Ausschnitt sichtbar wird.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die jetzt unmittelbar nebeneinanderliegenden Felder gestatten scharfe Vergleiche. Durch eine einfache Vorrichtung kann man die noch durch das Profil der Kastenwand voneinander getrennten Felder optisch in Berührung bringen. Das wesentliche aber ist, daß bei dieser Versuchsordnung im taghellen Zimmer die Tageslichtstimmung des Auges erhalten bleibt, also die oben hervorgehobene unerläßliche Voraussetzung für Farbenvergleiche — daß diese mit immer gleich gestimmtem Auge vorgenommen werden müssen — erfüllt ist. Beim Arbeiten ist darauf zu achten, daß die Felder gleich hell sind, was durch Anwendung von Blenden, die auf einen Schieber S bei B aufgelegt und eingeschoben werden, leicht zu erreichen ist. Dieser „Tageslichtkasten" ist vielseitig anwendbar.

Es ist selbstverständlich und ist im vorigen immer stillschweigend vorausgesetzt worden, daß künstliches Tageslicht weiß, d. h. von gleicher Farbe wie das natürliche Tageslicht sein soll, wobei ergänzend hinzuzufügen ist, daß es weiß sein soll für ein auf Tageslicht gestimmtes Auge. Im Tageslichtkasten geprüft ist das Licht keiner der bisherigen Tageslichtlampen weiß: das Licht der Reinlichtlampe ist grün und dieses Grün ist von erheblicher Sättigung, das Licht der verschiedenen gasgefüllten Glühlampen mit farbiger Birne (Tageslichtglühlampen) ist hellorange, gelbgrün bis violett und so fort.

In physikalischer Hinsicht ist auf Grund des bisher Ausgeführten ein erschöpfendes Urteil über den bisherigen Stand der Technik des künstlichen Tageslichts erhalten worden. Dieses Urteil gestattet noch keinen sicheren Schluß auf die Eignung der Erzeugnisse dieser Technik für das Mustern bei künstlichem Licht. Von diesem Standpunkt her ist ein Urteil erst noch zu gewinnen. Dies fällt indessen leicht, denn die Praxis der mit Anfärbungen arbeitenden Betriebe selbst liefert in dieser Hinsicht das umfassendste experimentelle Material durch zahllose Abmusterversuche, insbesondere beim relativen Mustern. Sie versichert auf Grund ihrer Erfahrung — allen gegenteiligen Behauptungen zum Trotz — daß unter den bisherigen Hilfsmitteln für das Mustern bei künstlichem Licht — vom Moore-Licht vielleicht abgesehen — keines ist, welches einen Ersatz für Tageslicht bietet. In die physikalische Sprache übertragen heißt dies, daß, wenn man die Lösung des Problems Mustern bei künstlichem Licht auf physikalischem Wege sucht, nur ein physikalisch einwandfreies, den Forderungen der Theorie soweit als nur möglich genähertes künstliches Tageslicht ein vollwertiges Hilfsmittel für das Mustern bilden kann. Auf dem Boden dieser Erkenntnis ist die im folgenden geschilderte erste technische Lösung des Problems durch Filter erwachsen. Diese vom Verfasser angegebene Lösung besteht in einer Brille, deren Konzeption auf der Überlegung beruht, daß die Wirkung eines Lichtfilters die gleiche bleiben muß, ob man das Licht auf seinem Wege von der Lichtquelle zum Gegenstand oder vom Gegenstand zum Auge filtert [1]).

Handelt es sich um Tageslichtfilter, so gelangt man im ersten Falle zu einer Tageslicht-Lampe, im letzteren aber zu einer Brille, wobei das Filter alle seine Eigenschaften behält, nur in seiner Größe zusammenschrumpft und die Form eines Brillenglases annimmt. Eine solche Brille, eine Tageslichtbrille, hat aber vom Standpunkte der Filterherstellung gegenüber der Tageslichtlampe bedeutende technische Vorteile.

Diese Vorteile des Brillenglasfilters bestehen 1. darin, daß das Brillenglasfilter soviel kleiner ist als das Lampenfilter. Vermöge dieser seiner Eigenschaft ist die Möglichkeit gegeben, ein Verfahren von höchster Feinheit zur Regelung der Glasdicken anzuwenden: den optischen Schliff. Zu diesem Zwecke gehe ich von dickeren und daher

---

1) Dies trifft nur für fluoreszierende Anfärbungen nicht zu.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

auch dunkleren als endgültig gewünschten Glasscheiben aus und schleife sie auf eine gemäß dem endgültigen Farbenton vorher errechnete Dicke ab. Dieses Verfahren, welches als viel zu teuer auf die großen Lampenfilter nicht anwendbar ist, bildet den eigentlich entscheidenden Fortschritt bei der Verwirklichung eines physikalisch einwandfreien Tageslichtfilters. Auf diesem Wege wird eine so feine Abtönung der Glaskombination erzielt, daß es 2. möglich sein wird, dieselbe durch eine Farbstoffschicht, deren Zusammensetzung nach einer eigenen Methode mit besonderer Sorgfalt ermittelt wird, zu einem im Sinne der Theorie streng richtigen Filter zu ergänzen.

Das Filter der Tageslichtbrille des Verfassers [1]) zeigt Kurve 4 der Abb. 106.

Der Vergleich mit Kurve 1 der gleichen Figur und mit Kurve 5 der Abb. 105 lehrt, daß dieses Filter dem Ives schen Filter ähnlich, aber besser ist als dieses. Es liegt dem idealen Filter näher, und die Wahl der es zusammensetzenden Gläser und Farbstoffe ist so erfolgt, daß die Bezirke vermehrter Durchlässigkeit im Rot, Blau und Grün möglichst klein ausfallen.

Der Tageslichtkasten ist geeignet, es zu prüfen, indem ein Brillenglasfilter an der Stelle der Blenden in denselben eingeschoben wird: auch ein geübtes Auge wird vergeblich bemüht sein, das künstliche Tageslicht des durch das Lumina-Filter gefilterten Lampenlichts von mittlerem Tageslicht zu unterscheiden.

Die Charakterisierung „mittleres" Tageslicht, welche hier eingeführt wird, weist darauf hin, daß das natürliche Tageslicht seiner spektralen Zusammensetzung oder seiner Lichtfarbe nach nicht konstant ist, sondern z. B. je nach der Tageszeit schwankt. Ives hat hierauf aufmerksam gemacht, und das Lumina-Filter und der Tageslichtkasten des Verfassers sind ein einfaches Hilfsmittel, um sich von der beträchtlichen Inkonstanz des Tageslichts in bezug auf seine Lichtfarbe eine unmittelbare, sinnfällige Anschauung zu verschaffen. Filter und Lampe bilden das unveränderliche „Normal"-Licht, mit welchem das Tageslicht als schwankendes, zu prüfendes Licht verglichen werden kann. Vermöge der Farbenstimmung erscheint das jeweils herrschende, den Raum erfüllende Tageslicht als weiß und das künstliche Tageslicht im Innern des Kastens, welches in Wahrheit das konstante ist, nimmt je nach dem schwankenden Tageslicht Färbungen an, die von gelb über weiß nach blau liegen: am Morgen, wenn das Tageslicht gelber ist als im Mittel, scheint das Lumina-Licht blau. An Föhntagen, wenn das Tageslicht blauer ist als im Mittel, scheint das Lumina-Licht gelb [2]).

Umgekehrt wurde der Tageslichtkasten benutzt, um an der Hand von Beobachtungen, die während eines ganzen Jahres zu verschiedenen Tageszeiten und bei den verschiedensten Wetterlagen angestellt wurden, ein „mittleres" Tageslicht zu ermitteln. Dieses entspricht, wie gefunden wurden, dem Mittagslicht an Tagen mit bedecktem Himmel. Auf dieses mittlere Tageslicht, welches in Form von „Normalfiltern" festgehalten wurde, sind die Lumina-Filter abgestellt. Sie bilden so einen für sich und untereinander immer gleichen Standard, den man als unveränderlich bezeichnen darf, da das Lumina-Filter vollständig lichtecht ist [3]).

---

1) Diese wird unter dem Namen „Lumina-Brille" von der „Lumina-Gesellschaft für Lichttechnik", Wien VI, Schmalzhofgasse 8, erzeugt.

2) Beobachtungen nach dieser Richtung, welche einen Beitrag zur Farbe des Tageslichts nach Tages-, Jahreszeit, geographischer Breite, absoluter Höhe usw., bilden werden, sollen an anderer Stelle veröffentlicht werden.

3) Ein 21 Tage im Juli am Südfenster belichtetes Lumina-Filter zeigte gegen ein im Dunkeln aufbewahrtes Vergleichsfilter keine Veränderung.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Bis jetzt war vom Lichtfilter allein die Rede, obgleich von einem Tageslichtfilter an und für sich nicht gesprochen werden kann. Ein Lichtfilter wird zum Tageslichtfilter erst dann, wenn es auf eine ganz bestimmte Lichtquelle so bezogen ist, daß es deren Licht (im sichtbaren Teil des Spektrums) in Licht von der Zusammensetzung des Tageslichts umwandelt. Es kann daher nur vom Tageslichtfilter einer bestimmten Lichtquelle gesprochen werden, und man darf selbstverständlich nicht erwarten, daß z. B. das Tageslichtfilter einer Vakuum-Glühlampe auch für Bogenlicht richtig sein wird. Vielmehr muß betont werden, daß die Anpassung eines Tageslichtfilters an die Lichtquelle mit einem hohen Grad von Genauigkeit geschehen muß, wenn das Filter richtig sein soll, und es erhebt sich deshalb die Frage, ob denn die gebräuchlichen künstlichen Lichtquellen selbst in bezug auf Lichtfarbe hinreichend konstant sind, um für eine praktisch verwendbare Verwirklichung eines physikalisch einwandfreien künstlichen Tageslichts brauchbar zu sein. Insbesondere von den elektrischen Glühlampen ist dies vermöge der Inkonstanz ihrer Lichtstärke während ihrer Lebensdauer von vornherein nicht zu erwarten. In Hinsicht auf Glühlampen war ferner zu bedenken, daß deren Lichtfarbe wesentlich von der Spannung abhängt, bei der sie gebrannt werden, und es war fraglich, ob sich die in jedem Netz vorkommenden Spannungsschwankungen nicht bemerkbar machen würden.

Diese Erwägungen machten eine besondere Untersuchung der Konstanz der Lichtfarbe gebräuchlicher Lichtquellen nötig, unter denen es insbesondere auf die gasgefüllten Glühlampen ankam. Die Lichtfarbe war in ihrer Abhängigkeit 1. von der Brenndauer, 2. von der Spannung zu untersuchen.

An dieser Stelle sei nur das Ergebnis der bezüglichen Arbeit mitgeteilt: 1. die Lichtfarbe von Glühlampen, Vakuum- und gasgefüllten Lampen ist während ihrer Lebensdauer praktisch konstant, 2. die Schwankungen der Netzspannung sind nicht merklich, wenn sie 5% der Spannung, für die die Lampe gebaut ist, nicht überschreiten.

Die Belastung des glühenden Wolfram-Fadens bei den verschiedenen Typen von gasgefüllten Glühlampen ist verschieden, was sich im Wattverbrauch je Kerze ausdrückt. Dieser beträgt bei den gasgefüllten Glühlampen von 40 Watt wenig unter 1 Watt je Kerze und sinkt mit steigender Wattzahl ab. Parallel damit wird die Lichtfarbe mit steigender Wattzahl weißer. Der Wattverbrauch je Kerze und damit die Lichtfarbe von gasgefüllten Glühlampen gleicher Wattzahl und verschiedener Voltzahl (z. B. von 200 Wattlampen von 110 und 220 Volt) ist aber bei praktisch in Betracht kommenden Voltzahlen praktisch gleich [1]).

Als Schlußfolgerungen für die Wahl und den Gebrauch einer in Verbindung mit einer Tageslichtbrille geeigneten und möglichst überall anwendbaren Lichtquelle ergab sich: das Filter der Brille ist für eine bestimmte Type einer gasgefüllten Glühlampe zu normalisieren. Als solche wurde für die Lumina-Brille die 200 Wattlampe gewählt, und zwar deshalb, weil diese Lampe die stärkste Type ist, die von allen Glühlampenfabriken noch mit normaler Edison-Fassung erzeugt wird, die überall vorhanden ist [2]).

200 Wattlampen beliebigen Fabrikates und beliebiger Voltzahl können dann unabhängig von der Brenndauer in Verbindung mit dem gleichen Filter gebraucht

---

1) Vgl. z. B. die auf Grund sorgfältiger Messungen ermittelten bezüglichen Zahlen in den Prospekten der Osram-Lampen.

2) Stärkere Lampen haben spezielle, sogenannte Goliath-Fassungen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

werden, sofern sie nur bei jener Spannung gebrannt werden, für die sie gebaut sind. Man braucht also, um bei künstlichem Licht mustern zu können, eine Brille und eine 200 Wattlampe der Voltzahl des eigenen Netzes. Hiermit scheinen die einfachsten möglichen technischen Bedingungen gegeben.

Die vorliegende Arbeit geht von physikalischen Gesichtspunkten aus und führt zunächst zu dem Ergebnis eines physikalisch richtigen künstlichen Tageslichts. Darüber hinaus wurde sie in der Erwartung unternommen, auf dieser physikalischen Grundlage allen mit Farben Arbeitenden ein praktisches Hilfsmittel an die Hand geben zu können, welches ein seit jeher empfundenes Bedürfnis befriedigt. Gutachten erster Fachleute auf dem Gebiete der Farben, die dem Verfasser zugekommen sind, sprechen dafür, daß diese Erwartung nicht trügen wird.

Zusammenfassung.

Die Farbe als Empfindung wird mitbestimmt durch die Beleuchtung und die Farbenstimmung des Auges. Mustern bei künstlichem Licht heißt, sich die Aufgabe stellen, eine bunte, künstlich beleuchtete Anfärbung so zu sehen, wie sie bei Tageslicht mit für Tageslicht gestimmtem Auge gesehen wird. Die Lösung dieser Aufgabe kann mittels physikalischer Methoden durch ein „künstliches Tageslicht“ gesucht werden.

Die Theorie des künstlichen Tageslichts wurde nach Ives gegeben und an der Hand von Messungen dargetan, daß die bisherigen sogenannten Tageslichtlampen mit Lichtfiltern den Forderungen der Theorie nicht entsprechen. Da dieselben auch für Zwecke des Musterns minderwertig sind, wurde geschlossen, daß nur ein physikalisch richtiges künstliches Tageslicht das natürliche für Musterzwecke zu ersetzen vermag.

Ein solches wurde in Gestalt einer Tageslichtbrille verwirklicht, deren Lichtfilter wegen ihrer Kleinheit durch optischen Schliff mit höchster Genauigkeit herstellbar sind. Die so verfeinerte Technik wurde benutzt, um die Schwankung der Lichtfarbe des Tageslichts der unmittelbaren Beobachtung zugänglich zu machen (Tageslichtkasten) und auf Grund solcher Beobachtungen ein mittleres Tageslicht festzustellen und festzuhalten. Die Abhängigkeit der Lichtfarbe von Brenndauer und Spannung wurde bei einer Anzahl von elektrischen Glühlampen untersucht. Auf Grund dieser Untersuchung und weil die Lichtfarbe von gasgefüllten Glühlampen verschiedener Type (Wattzahl) verschieden ist, wurde eine gasgefüllte Glühlampe einer bestimmten Type (200 Watt) ausgewählt und das Brillenglasfilter einheitlich auf diese Lampentype bezogen.

Die gewerbliche Erzeugung einer Tageslichtbrille, deren Filter auf ein wie oben ermitteltes mittleres Tageslicht abgestellt sind, wurde eingerichtet und damit ein immer gleiches und unveränderliches künstliches Tageslicht allgemein zugänglich gemacht.

XV. Durchlässigkeit verschiedener Medien für Ultraviolett.

Das dem menschlichen Auge unsichtbare ultraviolette Licht spielt bei photographischen Prozessen eine bedeutende Rolle. — Schon bei Naturaufnahmen unter freiem Himmel mit Glasoptik oder bei Beleuchtung mit elektrischem Bogenlicht oder Magnesiumlicht usw. ist bei Verwendung von Bromsilbergelatine-Platten die Mitwirkung

eines Teiles des Ultravioletts in der photographischen Praxis bemerkbar, vielleicht noch mehr beim Kopierverfahren mit der Quecksilberdampflampe. — Sie kommt nur bei Verwendung einer optischen Einrichtung mit Bergkristall zur vollen Geltung.

Filtriert man in Bergkristallwannen das auf die photographische Bromsilbergelatineplatte durch eine 4 prozentige Chininbisulfat-Lösung in 1 cm Dicke, so wird das ganze Ultraviolett entfernt. Belichtet man gleichzeitig die Bromsilberplatte hinter einer ebensolchen Bergkristallwanne, die mit Wasser gefüllt ist, so findet man aus der Differenz der photographischen Wirkung den Anteil des Ultraviolett. Eder fand, daß von der Gesamtwirkung auf Bromsilbergelatine im Sonnenlicht 38% auf den Effekt des Ultraviolett und 62% auf das sichtbare Spektrum zurückzuführen sind, während bei Chlorsilbergelatine mit Entwicklung sogar über 90% auf Rechnung des Ultraviolett kommen. Bei Benutzung von Glas-Objektiven wird viel Ultraviolett ausgeschaltet, so daß es bei den gewöhnlichen photographischen Aufnahmen keine so große Rolle mehr spielen kann.

In der angewandten Photographie mit Glasoptik und Tageslicht oder den gebräuchlichen künstlichen Lichtquellen kommt wohl das sichtbare Spektrum nur bis zum Beginn des Ultraviolett zur Geltung und darnach richtet sich die Verwendung der sensitometrischen Normal-Lichtquellen (s. Kapitel XVI, S. 347).

In der Dreifarbenphotographie glauben manche Reproduktionstechniker die Mitwirkung des Ultraviolett bei Verwendung eines Blaufilters ausschließen zu sollen, was sie z. B. durch Äskulinzusatz (undurchlässig für Ultraviolett) machen.

Die Skalenphotometer mit ihren auf Glas aufgetragenen Gelatine-Graukeilen lassen hinter dem Blaufilter das blaue und violette Licht und den Beginn des Ultraviolett bis etwa 330 $\mu\mu$ passieren, während die farblose Glasplatte des Eder-Hecht-Graukeilsensitometers ohne farbige Folien das Licht bis zum Ultraviolett 313 $\mu\mu$ durchdringen läßt (Eder, Ein neues Graukeilphotometer 1920, W. Knapp, S. 12 und 13).

Hierbei kann man auch beobachten, daß derartige Graukeile im Ultraviolett einen etwas größeren Extinktionskoeffizienten besitzen als im sichtbaren Spektrum.

Aus diesen und anderen Gründen ist die Kenntnis der Durchlässigkeit verschiedener Medien für ultraviolettes Licht auch für sensitometrische Arbeiten von Interesse.

Gewöhnliches weißes Glas in ein Millimeter Dicke läßt das Ultraviolett (Magnesiumlicht) bis ungefähr 310 bis 313 $\mu\mu$ durch

(Eder); nach Weidert nimmt man bei gewöhnlichem Brillenglas die Lichtdurchlässigkeit nur bis 320 $\mu\mu$ an[1]).

Jenaer Uviolglas (U. V. Crown 3199) läßt Ultraviolett bis etwa 250 $\mu\mu$ durch und Uviolglas bester Qualität von 0,3 mm Dicke läßt Ultraviolett bis 260 $\mu\mu$ ungeschwächt durch und mit teilweise zunehmender Schwächung noch bis 240 $\mu\mu$ (Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. 1914).

Dünne Glimmerplatten (Dicke 0,01 mm) lassen das Ultraviolett bis 250 $\mu\mu$ durch; die Absorption beginnt schwach bei etwa 300, steigt rasch bis etwa 290 und wird gegen 250 vollständig. — Zelluloidfilme, wie sie in der Kino-Industrie verwendet werden, zeigen je nach der Art der Beimengungen zu der als Hauptbestandteil vorhandenen Nitrozellulose oder Azetylzellulose eine variable Absorption im Ultraviolett; Beginn etwa bei 330 $\mu\mu$ oder 350 $\mu\mu$.

Eine vorzügliche Durchlässigkeit für Ultraviolett besitzt Bergkristall (reiner Quarz), der in dieser Beziehung nur vom weißen Flußspat übertroffen wird. Quarz läßt das ganze Ultraviolett bis zur Wellenlänge 190 oder 180 durch; etwas ungünstiger verhält sich Kalkspat. Schwach versilberte Quarzplatten lassen nur eine Zone des Ultraviolett zwischen 300 bis 350 ziemlich gut durch (Transmission zirka 30%), aber sehr wenig Licht von 350 bis 400 $\mu\mu$ und noch weniger bis 550 $\mu\mu$. — Wasser in 1 cm dicker Schicht, sowie Alkohol lassen in 1 cm dicker Schicht das Ultraviolett bis etwa 200 $\mu\mu$ gut durch und Glyzerin bis etwa 300 $\mu\mu$. Benzol, Naphthalin usw. und ihre Derivate zeigen eine mehr oder weniger starke Absorption des Ultraviolett.

Über die im äußersten Ultraviolett um die Zone von 190 $\mu\mu$ erhältlichen Spektrumphotographien von Metallfunkenspektren der Metalle, der Quecksilberdampflampe und der Bogenspektren der Elemente, siehe das große Tafelwerk von Eder und Valenta, „Atlas typischer Spektren“, 3. Auflage, 1928 (herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften in Wien).

Das verschiedene Verhalten von weißen und farbigen Gläsern mit verschiedener Zusammensetzung der Schmelzflüsse gegen ultraviolettes Licht wurde zuerst von Eder und Valenta im Quarzspektrographen nachgewiesen und durch Spektrumphotographien

---

1) J. Weidert (Forschungen und Fortschritte, Berlin, III. Band, März 1927) erwähnt hierbei, daß zeriumhaltige Gläser farblos sind, aber das Ultraviolett bis etwa 380 $\mu\mu$ absorbieren, was man für ärztliche Zwecke als Augenschutz gegen Ultraviolett benutzt.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

belegt. — Es wurde damals im Jahre 1894 zuerst die Überlegenheit des Phosphatkronglases, gewisser Borat- und Zinkgläser betreffs ihrer Ultraviolettdurchlässigkeit gezeigt. Dies war der Ausgangspunkt der später in Jena erzeugten sogenannten Uviolgläser (Eder und Valenta, Denkschriften der Akademie der Wissenschaft in Wien, Mai 1894; auch abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge für Photochemie und Spektralanalyse 1904, I, S. 98).

Quantitative Messungen über die Absorption verschiedener Glassorten für ultraviolettes Licht führte W. D. Haigh durch (Brit. Scient. Instr. Research Assoc.; Proceed. Optical Convent. 1926. Bd. 1. S. 237). Nach seinen Messungen absorbieren optische Gläser in einer Dicke von 2,5 mm im ultraviolettem Spektralbezirke vom einfallenden Lichte:

Glassorte	Lichtabsorption
Flint, extraleicht	46%
Kron-Baryt, dicht	43%
Kron-Borosilikat	6,2%.

Die Durchlässigkeit des sog. „Quarzglases“ (geschmolzener Quarz) für Ultraviolett ist ein wenig geringer als der benützte Quarz, der zur Schmelze des Quarzglases diente. — Quarzglas aus geschmolzenen Quarzsand läßt nur Ultraviolett bis ungefähr 240 $\mu\mu$ durch, also weniger als reiner Bergkrystall (Lord Rayleigh, Proceed. Optic. Convention, 1926, Bd. 1, S. 41; Science Ind. Phot. März 1927, S. 50), was mit dem Gehalte der allerdings geringen Verunreinigungen mit Eisenoxyd zusammenhängt.

Eine gute, auf exakten Messungen der spektralen Lichtabsorption beruhende übersichtliche graphische Darstellung der Absorption von Gläsern in Ultraviolett (mit Quecksilberquarzlampen) gibt Chr. Winther (Zeitsch. f. wissenschaftl. Photographie 1928. Bd. 25. S. 230), Abb. 108 zeigt die so gewonnenen Absorptionskurven verschiedener 2 mm dicker Gläser im Ultraviolett. Nr. 1 und 2 sind gewöhnliches Spiegelglas, Nr. 5 das bekannte Jenaer Uviolglas, Nr. 3, 4 und 6 sind neuere Fabrikate von sog. „Ultraviolettgläsern“. Man beachte, daß die Sonnenstrahlung zwischen den Wellenlängen 350 und 300 $\mu\mu$ nur geringe Energie besitzt und deshalb Gläser, die derartiges Licht möglichst ungeschwächt durchlasssen, von Bedeutung sein können; Spektralzonen kürzerer Wellenlängen kommen für die Photographie bei Tageslicht nicht in Be-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

tracht. Über Spektrographen mit ultraviolettdurchlässigen Gläsern s. Kapitel XIII.

Ultraviolett durchlässiges Glas für Fenster von Wohnräumen und Sanatorien.

Bekanntlich kommt einem gewissen Bezirke des ultravioletten Lichtes eine besondere biologische Wirkung zu, welche zur Bräunung der Haut und auch therapeutisch gesundheitbringend wirkt. Diese Zone liegt nach den Untersuchungen von Leopold Freund in Wien ungefähr zwischen 397 bis 325 (Archiv f. Dermatologie 1901, Bd. 58, Heft 1); nach Hermann Schrötter liegt sie für die Pigmentierung der menschlichen Haut oder beim Sonnenbrand in der Zone von 360 bis 292 (Vortrag am 9. Internationalen Tuberkulose-Kongreß in Brüssel 1910 („Der gegenwärtige Stand der Lichttherapie der Tuberkulose", Kommissionsverlagsbericht. Berlin-Charlottenburg 1912; Verlag der Internationalen Vereinigung gegen Tuberkulose). Haußer und Wahle (Strahlentherapie 1921, S. 41) schreiben dem schmalen Spektralbezirk 313 bis 290 $\mu\mu$ eine besondere erythembildende Kraft zu. Ähnliche Beobachtungen über diese kurzwellige Zone des Ultraviolett machte Sofus Bank über die Wellenlänge der bakterientötenden Strahlen und diese Beobachtungen führten zu den neuzeitlichen Versuchen, die Fenster von Wohnhäusern und Sanatorien mit ultraviolettdurchlässigen Gläsern zu verglasen und es befassen sich englische, amerikanische und deutsche Firmen, solche ultraviolettdurchlässige Gläser herzustellen, welche erschwingliche Preise für den Wohnungsbau haben (z. B. das englische Vitaglas 1926, das deutsche Ultravitglas 1927).

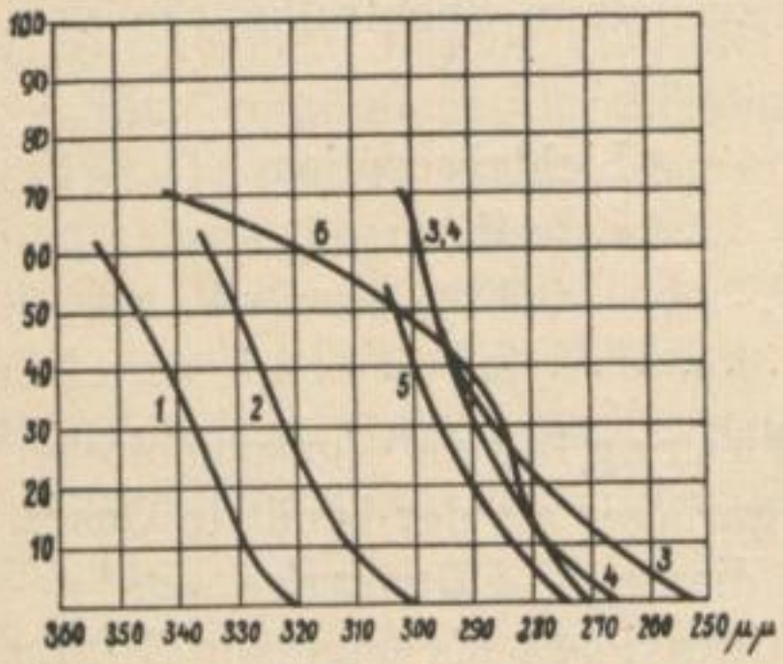


Abb. 108.

Transmissionskurven für verschiedene Sorten von Ultraviolett-Glas (Nr. 3 bis 6) und gewöhnlichem Spiegelglas (1 und 2). Nr. 5 ist das „Uviolglas" von Schott in Jena (nach Chr. Winther).

C. Dorno gab einen sehr ausführlichen Bericht in seiner Abhandlung „Ultraviolett-durchlässiges Glas" („Strahlentherapie" 1928, Bd. 29, S. 20). Aus den mitgeteilten Tabellen geht hervor, daß beim deutschen und englischen Fensterglas in 2 mm Dicke die Wellenlänge 290 bis 313 vom Fensterglas vollkommen verschluckt wird, dagegen von ultraviolettdurchlässigen Gläsern etwa zur Hälfte durchgelassen wird; letztere Glasarten sind auch für das längerwellige Ultraviolett dem gewöhnlichen Fensterglas weit überlegen. Dazu bemerkt Dorno, daß im Sonnen-Himmelslicht Ultraviolett von kleinerer Wellenlänge als 290 gar nicht vorhanden ist. Es kommt somit für die biologische Wirkung nur die Durchlässigkeit des Glases für Ultraviolett von 313 bis 293 und noch die Einzellinie 294 in Betracht. Die physikalisch-technische Reichsanstalt in Berlin bestimmt die Durchlässigkeitswerte für 340, 320, 310, 300, 295 und 290 und gibt die Mittelwerte für die Wellenlängen 310 bis 290 an.

Hausmann und Krumpel (Strahlentherapie 1927, Bd. 27, S. 386) untersuchten den Einfluß von Staub und Rauchprodukten auf die Ultraviolettdurchlässig-

keit von Gläsern bei senkrecht einfallendem Licht und fanden, daß loser trockener Staub die Durchlässigkeit nicht wesentlich vermindert, wohl aber fettiger verschmierter Staub. C. Dorno bemerkt hierzu, daß bei solchen Untersuchungen auch der Lichtverlust durch Staub im schräg auffallenden Lichte berücksichtigt werden sollte, wo merkliche Abweichungen zwischen reinen und schmutzigen Gläsern zu erwarten sind (Strahlentherapie 1928, Bd. 29, S. 28).

Man verwendet in neuerer Zeit (seit 1927) in England Vitagläser in Schulen, in Holland (Utrecht), in Deutschland (Berlin und Hamburg) und am weitgehendsten in den Vereinigten Staaten von Nordamerika in Krankenhäusern, Lungenheilstätten und Kinderheimen mit Erfolg.

FÜNFZEHNTES KAPITEL.

REFLEKTIERENDE FLÄCHEN IN DER SENSITOMETRIE. — WEISSE FLÄCHEN. — FARBENTAFELN.

In der Regel bedient man sich in der Sensitometrie des direkt einfallenden Lichtes, teils unverändert, teils durch zerstreuende Mittel (Mattglas, Opalglas) geschwächt, teils durch Farbenfilter selektiv verändert.

Aber auch die reflektierenden Flächen spielen eine große Rolle in der Photographie, um so mehr als die überwiegende Mehrzahl aller Photographien durch reflektiertes Licht entsteht.

In der Sensitometrie dienen weiße reflektierende Flächen zur Zerstreuung des Lichtes (z. B. beim Arbeiten mit Röhren-Sensitometern), teils zur Abschwächung von Normallicht, das dann in seiner spektralen Energieverteilung tunlichst wenig verändert werden soll, ferner zur Prüfung farbenempfindlicher Platten mit farbigen Tafeln, die mit Pigmentfarben bestrichen oder bedruckt sind und bei der photographischen Aufnahme rasch ein orientierendes Urteil über die Farbenempfindlichkeit farbenempfindlicher Platten gestatten.

I. Reflektierende weiße Flächen.

Für Zwecke der Sensitometrie bedient man sich in manchen Fällen weißer gut reflektierender Flächen, wie z. B. mattweißer, gestrichener Papiere (Barytpapier usw.), Zeichenpapier (s. S. 303 und 441), weißer pulveriger Körper (Magnesia) usw.

P. G. Nutting, L. A. Jones und F. A. Elliott stellten genau untersuchte Standards hierfür auf. (Abridg. Scientif. Publ. Eastman-Kodak, Rochester. 1913, S. 50.) Sie fanden bei weißen Pulvern die Reflexion abhängig von der Feinheit des Kornes. Feine lose weiße Pulver sind zur Standardisierung am geeignetsten; man preßt sie mit einer Glasscheibe ganz plan. — Magnesiumkarbonat wurde aus einem Block geschnitten. Sie fanden das Reflexionsvermögen für

Magnesiumkarbonatblock, frisch geschnitten	88,0 %
Magnesiumoxyd	84,9 „

Bariumsulfat	85,4 %
gepulverte Borsäure des Handels	86,2 „
Stärke	83,4 „
getrocknetes Aluminiumoxyd	85,7 „

Derartige Reflektoren benutzt man ab und zu in der Sensitometrie (z. B. beim Röhrensensitometer) zur Zerstreuung und Abschwächung von Lichtstrahlen, ohne ihre spektrale Energieverteilung zu ändern.

E. O. Hulbert bestimmte die Reflexionskraft verschiedener weißer Flächen getrennt für das sichtbare, ultraviolette und infrarote Licht (Journ. Optical Soc. America 1928. Bd. 17, S. 23). Er stellte seine Versuchsergebnisse in folgender Tabelle zusammen:

Diffuse Reflexionskraft verschiedener weißer Flächen

Spektralzone	Gewöhnlicher weißer Sand	Quarzsand	Schnee	Weißes Papier	Weißer Baumwoll-Cloth
Ultraviolett (300—400 $\mu\mu$)	8	40	35	8	36
Sichtb. Spektrum (400—800 $\mu\mu$)	25	50	40	30	42
Infrarot (800—2600 $\mu\mu$)	33	53	15	15	40

Wie man sieht, reflektiert weißer Quarzsand reichlich das ultraviolette, sichtbare und infrarote Licht, während der Schnee wohl viel Ultraviolett und das sichtbare Spektrum, aber wenig Infrarot reflektiert; dagegen zeigt weißes Papier eine geringe Reflexionsfähigkeit für Ultraviolett.

Hierzu wäre zu bemerken, daß alle diese weißen Flächen keine nachweisbare selektive Reflexionsfähigkeit im sichtbaren Spektrum besitzen; diese macht sich erst im unsichtbaren Infrarot und Ultraviolett geltend.

Am gebräuchlichsten ist für photometrische oder photographische Zwecke ein Bogen rein weißen Zeichenpapiers oder von weißem Barytkarton, wie er in der Fabrikation photographischer Papiere Verwendung findet.

Besonders auffällig ist die bekannte Tatsache, daß Zinkweiß und Lithopon, sowie Titansäure (Titanweiß) und auch weiße Blumen Ultraviolett stark verschlucken, so daß bei der Photographie

mit ultraviolettem Lichte diese weißen Flächen sich fast wie Schwarz verhalten (vgl. hierüber Eder, Handbuch der Photographie. I, 3. Dritte Aufl. 1912. S. 303. — Ferner s. Kögel, Palimpsestphotographie. W. Knapp).

Als Standard-Oberfläche für photometrische Vergleichungsmessungen im sichtbaren Spektrum wird vom Amerikanischen Bureau of Standards in Washington (Rosa und Taylor, Scient. Paper Bureau of Stand. Nr. 447, 1922) eine mit Zinkweiß gestrichene Fläche empfohlen; wie man sieht, kommt dies auf die Vorschläge von Bunsen und Roscoë zurück, welche Zinkweiß mit ganz schwacher Gelatinelösung (8 g Hausenblase auf 1000 Teile Wasser) auf Karton auftrugen und dieselbe Methode auch durch Zusatz von geglühtem Lampenruß zur Erzeugung eines Normalgrau verwerteten (vgl. Eder, Handbuch I, 3, Dritte Auflage 1912, S. 131).

Für Untersuchungen im Ultraviolett mit Quarzoptik ist Zinkweiß aus den oben angegebenen Gründen unbrauchbar, weil es den größten Teil des Ultraviolett verschluckt und nicht reflektiert.

II. Verhalten von Pigmentfarben bei photographischen Aufnahmen; ihr Reflexionsvermögen.

Für Zwecke der praktischen Plattenprüfung benützt man seit langer Zeit Pigmentfarben in Form von Farbentafeln, wie sie als einer der ersten H. W. Vogel zur Prüfung farbenempfindlicher Platten benützte.

H. W. Vogel verwandte bereits Anfang der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts bestimmte Farbtafeln, die sich in seinem „Lehrbuch der Photographie“ 2. Aufl. 1874 finden. Diese Tafel war aus gefärbten chromolithographischen Papiermustern hergestellt:

Neapelgelb	Chromgelb	Lichtocker	Mennige
Krapplack	Zinnober	Chromrot	Terra di Siena
Van Dyckbraun	Schweinf. Grün	Kobaltgrün	Grün. Zinnober
Kobaltblau	Berlinerblau	Ultramarin	Indigo

Vergleichsaufnahme in Lichtdruck von Obernetter.

Helmholtz hatte als Testobjekt für visuelle Versuche gut definierte anorganische Stoffe vorgeschlagen: Zinnober, Chromgelb, Schweinfurtergrün und Ultramarin, welche im gepulverten Zustand mit sehr schwacher Gelatinelösung angerührt und auf weißes Zeichenpapier aufgetragen wurden. Dieselben Pigmente hatte Eder zur Prüfung der photographischen Farbenempfindlichkeit unter Beigabe von Methylviolett, Krapprot, Preußischblau und einer abgestuften Grauskala verwendet und mit Probeaufnahmen belegt. (Eder, „Ausführliches Handbuch der Photographie“ 1903, 5. Auflage, S. 667, Tafel I bei S. 712.) Die Reflektionsspektren dieser Probefarbentafeln sind in der Abhandlung „Eder, Spektralanalytische Studien über

den photographischen Dreifarbendruck“ (Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien, 2. Juli 1902; abgedruckt in: Eder und Valenta „Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse“, Wien 1904, IV., S. 6 und 7) dargestellt. In neuerer Zeit befaßte sich Karl Schaum in seiner Abhandlung über „Reflektionsspektroskopie“ mit diesen und anderen Pigmentfarben. Er bediente sich visueller Beobachtungsmethoden der quantitativen Spektralphotometrie (Zeitschr. f. wissensch. Phot., 26. Bd., 1928, S. 97).

Verschiedene chromolithographische Farbentafeln wurden in zahlreichen Varianten zur Prüfung farbenempfindlicher Platten und Demonstration ihrer Eigenschaften für farbentonrichtige Reproduktionen veröffentlicht; später kamen noch Papiere, die mit Farbstofflösungen getränkt waren, hinzu, wie z. B. die Farbtafeln der Farbwerke vorm. Meister Lucius und Brüning in Höchst a. M., dann die Farbtafeln der Agfa in Berlin, von denen weiter unten die Rede sein wird.

Von besonderer Bedeutung ist der „Farbenatlas“ von Wilhelm Ostwald (siehe ferner Ostwald, „Die Farbenfibel“ 1914; W. Ostwald, „Die Farbenlehre“, Leipzig 1921/23. Ostwald, „Einführung in die Farbenlehre“, Reclamband Leipzig, Ostwald, „Physikalische Farbenlehre“, Leipzig 1923. Kritik des Ostwaldschen Systems im allgemeinen: Kohlrausch, „Physikalische Zeitschrift“, 1920, Band 21, S. 396, 423 und 473).

Vom auffallenden Lichte wird von Pigmentfarben ein Teil absorbiert, ein Teil reflektiert, und zwar keineswegs monochrom, sondern es mengen sich auch andere Spektralfarben bei, wenn auch die maximale Strahlung der Eigenfarbe entspricht. — Manche Pigmentfarben besitzen geringe Helligkeit („sie sind stark schwärzlich“). Zur Charakterisierung der Farben benützt man drei Angaben:

1. Die Sättigung, welche durch die Größe des Weißanteiles bestimmt ist,

2. den Farbton, d. h. die Wellenlänge der ähnlichen Spektralfarbe, dessen Helligkeit durch den Schwarzgehalt bestimmt ist. Die gesättigsten Farben sind die Spektralfarben; sie sind nicht durch Pigmente wiederzugeben, die alle weit ungesättigter sind. Die Physiologen unterscheiden statt Sättigung und Helligkeit „Weiß- und Schwarzgehalt“. Bei abnehmender Helligkeit verlieren zuerst die roten Töne ihren Farbcharakter, während Blau am längsten als Farbe gesehen wird, daher das Überwiegen der blauen Farbtöne bei

geringer Helligkeit (Purkinje-Phänomen). Andererseits werden bei sehr hoher Helligkeit die Farben ungesättigter [1]).

3. Nach dem Ostwaldschen System sind die Pigmentfarben durch die Definitionsgleichung $r + w + s = 1$ charakterisiert, wobei r den Gehalt an reiner Farbe, w den Gehalt an Weiß, s den Gehalt an Schwarz ausdrücken.

Im folgenden sind für die Farbtafel der Höchster Farbwerke die nach dem System Ostwald bestimmten Anteile r, w, s in Nähe-rungswerten nach Hübl angegeben sowie die durch den Vergleich mit nach Helmholtz's System geeichten Pigmenten ermittelte Wellenlänge λ ihres Farbtones.

	violett		blau		grün		gelb		orange		rot	
r	19	—	38	40	18	—	96	—	88	61	30	17
w	5	—	2	3	7	—	4	—	2	4	3	5
s	76	—	60	57	75	—	0	—	10	35	67	78
λ	556[2])	570[1])	470	482	496	540	572	580	595	605	610	—

Wie man sieht, ist der Schwarzgehalt von grünen, roten und violetten Pigmentfarben besonders groß, bei Gelb und hellem Orange sehr klein.

Der Lichteindruck, den die Körperfarben auf das Auge ausüben, ist eine Funktion:

1. der Augenempfindlichkeit,
2. des Reflexionsvermögens der Körperfarben und
3. der spektralen Zusammensetzung der zur Beleuchtung verwendeten Lichtquellen.

Für gewöhnlich nimmt man hierfür das Sonnenlicht an; dann resultiert für das Auge z. B. das Helligkeitsverhältnis der Pigmentfarben Blau: Grün: Gelb: Rot = 1 : 1,1 : 4,6 : 0,78.

A. Hübl stellt den Anteil der Reflexionsstrahlung von Pigmentfarben für die drei Grundfarben (Blau, Grün und Rot) mit Hilfe eines Farben-Meßapparates fest und multipliziert die so er-

1) Sehr ausführlich und gründlich sind diese Verhältnisse in den Abhandlungen von Armin Tschermak, „Licht- und Farbensinn", sowie von demselben „Theorie des Farbensinnes" dargestellt („Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie", herausgegeben von A. Bethe, G. v. Bergmann, G. Emden u. a., Verlag von Julius Springer in Berlin. XII. Bd., 1. Hälfte, 1928).

2) Farbton ist komplementär zur angegebenen Wellenlänge.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

haltenen Werte mit den Helligkeiten der Grundfarben. (Hübl, „Die orthochromatische Photographie", Halle a. S. 1920.)

Über den Zusammenhang der visuellen Helligkeit von Körperfarben bei Verwendung verschiedener Lichtquellen und der richtigen Tonwert-Wiedergabe durch panchromatische Platten stellte Kurt Jacobsohn (Die Kinotechnik, 10. Band, 1928, S. 182) Versuche an. Z. B. fand er, daß die Körperfarben durch panchromatische Platten bei Verwendung von gasgefüllten Wolframlampen (Nitralampen) dann tonwertrichtig wiedergegeben werden, wenn man das Blau und das Rot durch entsprechende Filter schwach dämpft.

Über die Untersuchungen L. Blochs siehe Seite 308.

L. A. Jones vom Kodak-Forschungslaboratorium in Rochester untersuchte das Reflexionsvermögen von Ölfarben. Er führt zwei neue Bezeichnungen ein: „Photobility", d. i. die spektrale Verteilung der Empfindlichkeit des Photomaterials und „Photocity", die das Resultat der Energie der Lichtquelle multipliziert mit der Photobility ist (s. S. 17). Die Ölfarben wurden auf Karton in dreifacher Schichte aufgetragen, nachdem sie mit Terpentinöl und etwas Japan-Trockenfirnis gemischt waren. Allzu dunkle Pigmentfarben mit geringem Reflexionsvermögen wurden mit Weiß vermischt; in folgender Tabelle sind die Prozente der verwendeten Farben angegeben; der Rest ist Weiß.

Name der Pigmentfarbe	Visuelle Helligkeit	Wolframfadenlampen		Elektrisches Kohlenbogenlicht	
		panchrom.	orthochrom.	panchrom.	orthochrom.
Zinnober	12	12	1,8	4,9	1,8
Cadmiumorange	38	23	5,7	12	7
Cadmiumgelb	52	23	7,9	17	7,9
Chromgelb	30	23	8,1	13	6,8
Gelber Ocker	28	16	7,8	12	9,8
Apfelgrün	43	26	14	16	10
Smaragdgrün	35	23	28	16	15
Kobaltgrün	18	17	20	14	17
Kobaltblau, 25% . . .	27	42	50	54	58
Preußischblau	8	14	20	20	22
Ultramarin	4	5	7	5,4	6,8
Kobaltviolett	12	26	28	26	33
Purpurlack, 50% . . .	8,7	11	13	14	16
Permanentviolett . . .	6,2	9,3	8,8	8,0	13
Magenta-Lack	4,5	3,8	2,6	2,9	2,6
Permanent Carmin, 50%	9,5	9,8	6,1	16	16

Aus dieser Tabelle ist der photographische Effekt der Pigmentfarben bei Glühlicht und Bogenlicht auf panchromatische und orthochromatische Platten ersichtlich. Diese Beispiele haben jedoch keine allgemeine Gültigkeit.

III. Über Sensitometrie mit Farbentafeln

führte Leopold Bloch in Berlin grundlegende Versuche aus (1928), die er in nachfolgendem Originalbericht auszugsweise mitteilt [1]).

Die Beurteilung der Empfindlichkeit photographischer Platten und Filme gegenüber Lichtstrahlung von verschiedener Farbe erfolgt theoretisch am einwandfreiesten mit Hilfe des spektralphotographischen Meßverfahrens. Im Spektrum des Tageslichts oder eines Temperaturstrahlers erhalten wir reine Farben, deren Farbton wir durch die Wellenlänge genau definieren können. Diesem Vorzug steht aber der praktische Nachteil gegenüber, daß die in der Natur vorkommenden und photographisch wiederzugebenden Farbtöne keine reinen Spektralfarben sind. Sie enthalten stets eine mehr oder weniger große Beimengung von Weiß und stellen außerdem selbst Gemische verschiedener Farben dar. Sie wirken deshalb auf die photographische Platte ganz anders ein als die reinen Spektralfarben. So wird man beispielsweise bei der photographischen Wiedergabe von rot, orange und gelb gefärbten Gegenständen auf gewöhnlichen Platten ganz charakteristische Unterschiede feststellen können, während die entsprechenden Farbtöne des Spektrums überhaupt nicht mehr auf die gewöhnliche Platte einwirken. Bei panchromatischem Material wird man mit dem spektralphotographischen Verfahren unter Umständen gleiche Einwirkung roter und blauer Farbtöne feststellen; die entsprechenden in der Natur vorkommenden Farbtöne wirken dagegen doch in recht verschiedenem Maße auf dieselbe Platte ein. Für die praktische Sensitometrie ist deshalb die photographische Aufnahme von Farbentafeln mit verschiedenen Farbtönen von großer Bedeutung. Man kann auf diesem Wege die photographischen Materialien in einfacher und den Verhältnissen der Praxis gut entsprechender Weise auf die richtige Wiedergabe der Helligkeitswerte der verschiedenen Farbtöne prüfen.

Für derartige Zwecke wurde von den Höchster Farbwerken schon seit über 10 Jahren die sogenannte Höchster Farbentafel benutzt und eingeführt. Neuerdings ist hierfür die Agfa-Farbentafel von der J. G.-Farbenindustrie, Abteilung Agfa und die Ilford-Farbentafel von der englischen Ilford-Gesellschaft herausgegeben worden. Beide Tafeln enthalten die in der Natur hauptsächlich in Frage kommenden Farbtöne und daneben sind graue

1) Vgl. Dr.-Ing. L. Bloch, Die Aktinität der Nitralampe und ihre Messung der Aktinität", Kapitel XVII.

Tabelle 1.
Bezeichnung, Farbe und Reflexionsvermögen der Felder der Agfa-Farbentafel.

Nr. 10 Schwarz 4,5%	Nr. 20 Weiß 92%	Nr. 29 Rot 15%	Nr. 19 Grau 15,5%
Nr. 11 Grau 11%	Nr. 21 Purpur 10%	Nr. 28 Orange 35%	Nr. 18 Grau 30,5%
Nr. 12 Grau 6%	Nr. 22 Violett 5,5%	Nr. 27 Gelb 65%	Nr. 17 Grau 65%
Nr. 13 Grau 8%	Nr. 23 Blau 6,5%	Nr. 26 Gelbgrün 35%	Nr. 16 Grau 39%
Nr. 14 Grau 9,5%	Nr. 24 Blaugrün 8%	Nr. 25 Grün 16%	Nr. 15 Grau 20%

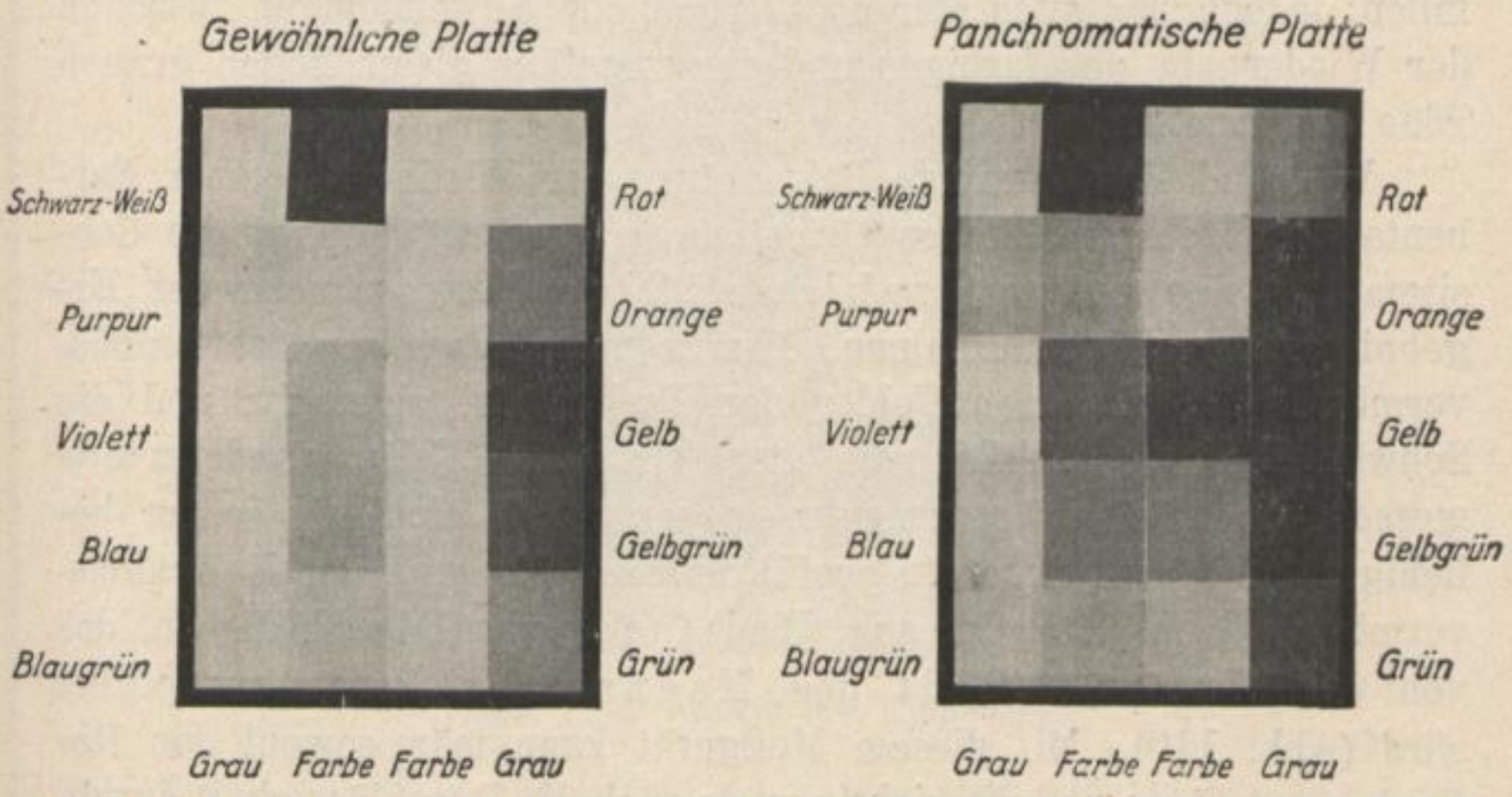


Abb. 109. Photographische Wiedergabe der Agfa-Farbentafel auf gewöhnlicher und panchromatischer Platte.

Felder von ungefähr gleicher Helligkeit (gleichem Reflexionsvermögen) vorgesehen. Die Ilford-Tafel ist in lithographischer Ausführung hergestellt; die Agfa-Tafel enthält dagegen möglichst reine Pigment-Farbenaufstriche. Auch die Farbmuster aus dem Ostwald-

schen Farbenatlas können für die Farbentafel-Sensitometrie benutzt werden; bei häufiger Benutzung und starker Belichtung ist jedoch hier Vorsicht am Platze, da die Belichtung ein Ausbleichen der nicht lichtechten Farbtöne hervorrufen kann. Die Farben der Agfa-Tafel haben sich als recht gut lichtecht erwiesen.

Die Anordnung der einzelnen Felder der Agfa-Farbentafel ist aus der Tab. 109 zu entnehmen. Die Gesamtgröße der Tafel ist 8,2 × 12,5 cm. Die photographische Wiedergabe der Tafel auf einer gewöhnlichen und einer panchromatischen Platte zeigt die Abb. 109. Zum Zwecke einer annähernden Beurteilung der Ergebnisse einer derartigen Aufnahme vergleicht man die Wiedergabe der Farbenfelder in den beiden mittleren Reihen mit den daneben stehenden Graufeldern in den äußeren Reihen. Bei der gewöhnlichen Platte sieht man sofort, daß die kurzwelligen Farbtöne Blau und Violett dunkler als die ungefähr gleich hellen grauen Töne herausgekommen sind, während die langwelligen Farbtöne von Grün bis Rot viel weniger als die entsprechenden Grautöne auf die Platte eingewirkt haben. Bei der für Abb. 109 rechts benutzten panchromatischen Platte ist das Ergebnis dagegen ganz anders ausgefallen; jedoch sind auch hier noch erhebliche Abweichungen zwischen der Wiedergabe der farbigen und der ungefähr gleich hellen grauen Töne festzustellen.

Während eine derartige Betrachtung der Wiedergabe einer Farbentafel zur oberflächlichen Orientierung genügt, verlangt die Sensitometrie eine genauere zahlenmäßige Bewertung der Ergebnisse einer Probeaufnahme. Hierzu müssen wir das Reflexionsvermögen der einzelnen Felder der Farbentafel einerseits und die Schwärzung der Abbildungen der einzelnen Felder andererseits messen. Die Schwärzungsmessung läßt sich mit jedem beliebigen Schwärzungsmesser ausführen. Zur Messung des Reflexionsvermögens kann u. a. das sog. Unimeter von Bloch dienen, das von der Firma Schmidt und Haensch in Berlin ausgeführt wird (Abb. 110). Mit diesem Meßgerät kann man sowohl das Reflexionsvermögen undurchsichtiger als auch die Durchlässigkeit durchsichtiger Stoffe messen. Man kann daher mit ihm auch die Messung der Schwärzung von Platten und Filmen sowie von photographischen Papieren in einfacher Weise durchführen. Als Schwächungs- und Vergleichsvorrichtung enthält das Instrument das bekannte Polarisationsphotometer in einem handlichen Aufbau, der in Form und Größe etwa einem Mikroskop ähnlich ist. Die Reflexions-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

messungen können bei Tag im hellen Raume oder bei künstlichem Licht ausgeführt werden. Für die Schwärzungsmessung von Platten und Filmen wird als Lichtquelle eine Nitra-Opallampe im dunklen Raume benutzt. (Näheres siehe Licht und Lampe, Jahrg. 1928, S. 207 und 244; Chemiker-Zeitung, Jahrg. 1928, S. 488.)

Die Messungsergebnisse für das Reflexionsvermögen der einzelnen Felder einer Agfa-Farbentafel sind aus der

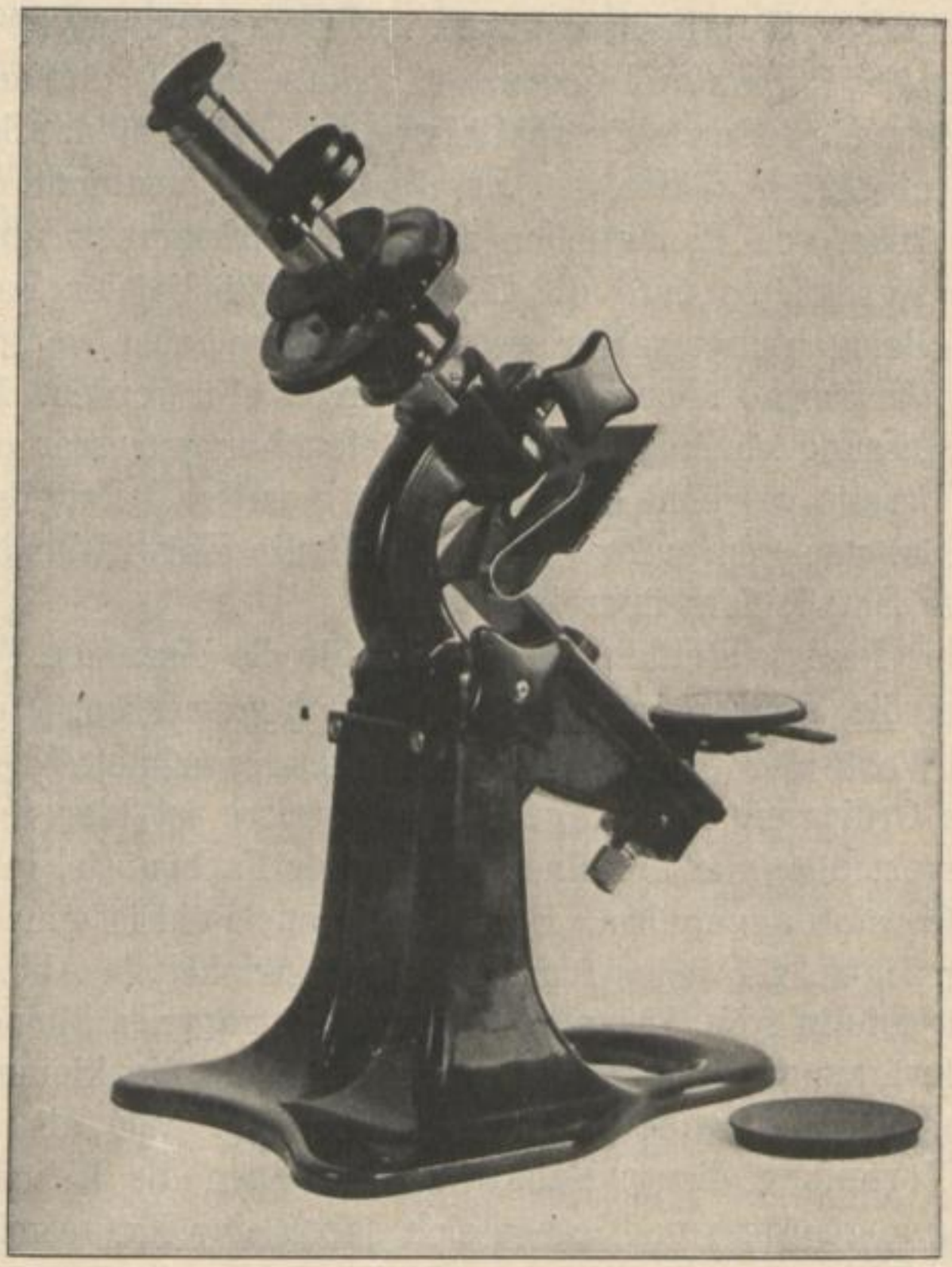


Abb. 110. Ansicht des Unimeters.

Tab. 1 zu entnehmen. Die farbigen Felder sind mit den Nummern 21 bis 29, die entsprechenden grauen Felder mit 11 bis 19 bezeichnet, und außerdem ist noch ein schwarzes und ein weißes Feld (10 und 20) vorgesehen. Wie aus dem Vergleich der Zahlen für das Reflexionsvermögen hervorgeht, besitzen die farbigen und die jeweils daneben liegenden grauen Felder ein angenähert, wenn auch nicht vollkommen gleiches Reflexionsvermögen.

Sollen die Eigenschaften eines bestimmten Plattenmaterials mit Hilfe der Farbentafel untersucht werden, so wird eine photographische Aufnahme der Farbentafel auf der zu untersuchenden Platte hergestellt. Für die Beleuchtung der Farbentafel und die Belichtungszeit werden die normal üblichen Werte gewählt. Sollen verschiedene Platten oder verschiedene Arten von Lichtquellen miteinander verglichen werden, ohne daß der absolute Wert ihrer Empfindlichkeit zu erfahren gewünscht wird, so genügt es, die Farbentafel jeweils mit derselben Lichtquelle unter übereinstimmenden Betriebsverhältnissen zu beleuchten. Sollen dagegen die absoluten Werte der Empfindlichkeit bestimmt oder verschiedene Arten von Lichtquellen auf ihre Wirksamkeit miteinander verglichen werden, so muß die Beleuchtungsstärke der Farbentafel mit einem Beleuchtungsmesser gemessen und bei den verschiedenen Versuchen annähernd übereinstimmend eingestellt werden. Man kann für diese Messung einen der üblichen Beleuchtungsmesser oder auch das oben bereits erwähnte Unimeter benutzen. Bei Vergleichsversuchen ist auch darauf zu achten, daß die Entwicklungszeit und die Art des Entwicklers übereinstimmen.

Auf der fertiggestellten Platte wird für die einzelnen Felder der Farbentafel die Schwärzung der Reihe nach gemessen. Die hierbei erhaltenen Werte werden in das in Abb. 111 eingezeichnete Koordinatensystem als Ordinaten eingetragen. Als Abszisse ist hier jeweils das Reflexionsvermögen der einzelnen Felder der Farbentafel in logarithmischem Maßstab angegeben. Für jedes graue Feld ist eine vertikale Linie ausgezogen, für jedes farbige Feld gestrichelt in Abb. 111 eingezeichnet. Die in Abb. 111 als Beispiel eingetragenen kleinen Kreise stellen Schwärzungswerte für die grauen Felder, die kleinen Kreuze Schwärzungswerte für die farbigen Felder dar. Wie ein Überblick über die Verteilung dieser Punkte zeigt, liegen die kleinen Kreise regelmäßig angeordnet und lassen sich durch eine Kurve miteinander verbinden. Diese Kurve gibt uns ein Stück der Schwärzungskurve des untersuchten photographischen Materials. Denn die Abszissenwerte entsprechen der Belichtung der einzelnen grauen Felder der Platte, da ja für alle Felder die Beleuchtungsstärke und die Belichtungszeit übereinstimmen und nur das als Abszisse aufgetragene Reflexionsvermögen der einzelnen grauen Felder verschieden ist. Die Ordinatenwerte entsprechen andererseits der Schwärzung der einzelnen Felder. Hierbei ist es nicht nötig, die Schwärzung auszurechnen, sondern man kann unmittelbar die auf der Teilung des

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schwärzungsmessers abgelesenen Skalenteile auftragen. Zur besseren Übersicht ist in der Abb. 111 noch neben diesen Zahlen für die Skalenablesung eine zweite Skala für die entsprechende Schwärzung vorgesehen. Die auf der Agfa-Farbentafel vorgesehenen Felder umfassen einen Bereich des Reflexionsvermögens und dementsprechend auch der Belichtung im Umfange von etwa 1:20 und man erhält deshalb mit ihnen nur einen Teil der gesamten Schwärzungskurve des zu untersuchenden Materials. Soweit man hiermit nicht für die vorzunehmenden Untersuchungen auskommt, kann man durch Herstellung von zwei Aufnahmen, deren Belichtungszeit sich etwa wie 1:15 verhält, den ganzen Verlauf der Schwärzungskurve des zu untersuchenden Materials erhalten.

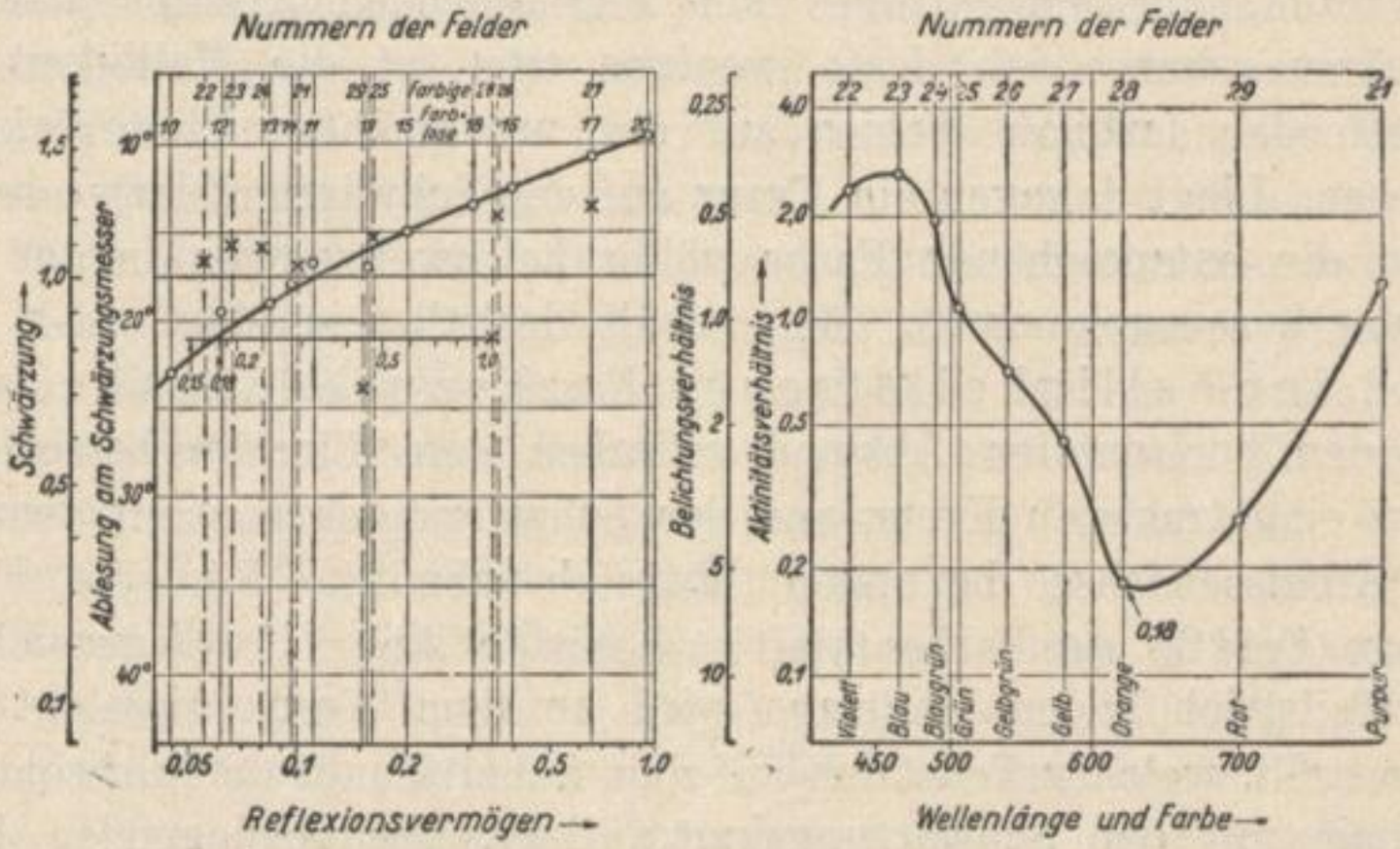


Abb. 111. Aufzeichnung und Verwertung der Ergebnisse der Schwärzungsmessungen für die Felder der Agfa-Farbentafel.

Die aus der Aufnahme sich ergebende Schwärzungskurve kann zu verschiedenen Zwecken benutzt werden. Man kann aus ihr die Eigenschaften des untersuchten Plattenmaterials feststellen; sie kann aber auch zur Ermittlung der Aktinität oder photographischen Wirksamkeit der zur Belichtung der Farbentafel benutzten Lichtquellen dienen. Zu diesem Zwecke wird aus der Schwärzungskurve entnommen, bei welcher Belichtung eine bestimmte Schwärzung, beispielsweise der Wert 1, erhalten wird. Die relative Belichtung ergibt sich aus dem auf der Kurve abgelesenen Reflexionsvermögen, multipliziert mit der Beleuchtungsstärke der Farbentafel und der Belichtungszeit. An Stelle der nur relativen Werte für die Belichtung der untersuchten Platte kann man auch die absoluten Werte

in Luxsekunden feststellen, wenn man die Beleuchtungsstärke der Farbentafel mißt und außerdem das Verhältnis der Beleuchtungsstärken von Original und Bild ermittelt. Die relative Aktinität zweier Lichtquellen ergibt sich als Verhältnis der Belichtungswerte, bei denen dieselbe Schwärzung, beispielsweise 1, erhalten wird.

Im Gegensatz zu den in Abb. 111 eingezeichneten Kreisen für die grauen Felder liegen die Kreuze für die farbigen Felder unregelmäßig verteilt und mehr oder weniger weit von der für die grauen Felder erhaltenen Schwärzungskurve entfernt. Für die kurzwelligen Farbentöne liegen die Kreuze im allgemeinen links, und für die langwelligen rechts von der Schwärzungskurve. Je größer die in horizontaler Richtung gemessene Entfernung eines die Schwärzung für ein farbiges Feld darstellenden Kreuzes von der Schwärzungskurve ist, desto weniger treu ist die Helligkeit des betreffenden farbigen Feldes auf der untersuchten Platte wiedergegeben. Liegt dagegen ein Kreuz auf der Schwärzungskurve selbst, so ist die entsprechende Farbe völlig helligkeitsgetreu in der Abbildung herausgekommen. Man erhält deshalb ein Maß für den Grad der helligkeitstreuen Farbenwiedergabe, wenn man den horizontalen Abstand zwischen dem für die betreffende Farbe eingetragenen Kreuz und der Schwärzungskurve mit dem für die Abszissenachse benutzten Maßstab abmißt. Für die Farbe Orange (Feld 28 der Farbentafel) ist dies in der Abb. 111 eingezeichnet. Der Teilstrich 1 des Maßstabs wird an dem Kreuz angelegt und festgestellt, welcher Teilstrich auf dem Schnittpunkt der horizontalen Meßlinie mit der Schwärzungskurve liegt. Im vorliegenden Falle wird hierfür der Wert 0,18 erhalten. Diese Zahl, die als Aktinitätsverhältnis bezeichnet werden kann, sagt uns, daß wir für ein graues Feld von gleichem Reflexionsvermögen, wie es das Orangefeld besitzt, nur die 0,18fache Belichtung benötigen, um dieselbe Schwärzung zu erhalten. Umgekehrt benötigen wir bei dem untersuchten Plattenmaterial für die Farbe Orange die $^1/_{0,18} = 5{,}55$fache Belichtung wie für ein Grau von gleicher Helligkeit; diesen Wert kann man als Belichtungsverhältnis bezeichnen. Bestimmt man der Reihe nach in dieser Weise die Aktinitätsverhältnisse für alle in der Farbentafel enthaltenen Farben, so kann man hieraus eine Kurve des Aktinitätsverhältnisses für die verschiedenen Farben erhalten, wie sie auf der rechten Seite der Abb. 111 eingezeichnet ist. Hier sind die Werte des Aktinitätsverhältnisses als Ordinaten in Abhängigkeit von den Wellenlängen der

einzelnen Farben als Abszissen aufgetragen. Neben der Skala für das Aktinitätsverhältnis ist noch eine zweite für dessen reziproken Wert, das Belichtungsverhältnis, vorgesehen. Die Wellenlängen für die einzelnen Farben der Agfa-Farbentafel wurden durch Aufnahme ihrer Spektralkurven bestimmt; sie entsprechen annähernd der Wellenlänge, bei der diese Spektralkurven ihr Maximum aufweisen. Für die Farbe Purpur, die im Spektrum nicht vorkommt, wurde ein willkürlich gewählter Punkt jenseits von Rot vorgesehen. Um die Eintragung der Messungsergebnisse möglichst einfach zu gestalten, ist es zweckmäßig, sich Weißpausen mit den hier benutzten Koordinatennetzen anzufertigen.

Die in Abb. 111 rechts eingetragene Kurve für das Aktinitätsverhältnis gibt einen Überblick über die Aktinität für alle vorkommenden Farbentöne. Im allgemeinen erreicht diese Kurve für alle gebräuchlichen Platten- und Filmarten ein Maximum bei Violett und ein Minimum bei Orange oder Gelb. Je weiter der Maximal- und der Minimalwert für das Aktinitätsverhältnis voneinander entfernt sind, desto weniger helligkeitsgetreu gibt die untersuchte Platte die Farben wieder. Die Verhältniszahl zwischen beiden Werten zeigt uns, wievielmal so starke Belichtung gelbe und orange Farbentöne erfordern, damit sie bei der photographischen Wiedergabe ebenso hell erscheinen wie violette Farbentöne von gleicher Helligkeit. Man kann diese Verhältniszahl entweder als echten Bruch angeben (z. B. 1:5) oder in Prozenten (20%) ausdrücken und sie abgekürzt als „Farbentreue“ bezeichnen. Bei der Angabe in Prozenten würde 100% vollkommene Farbentreue oder das Aktinitätsverhältnis 1 für alle Farben bedeuten.

Beispiele von Kurven für das Aktinitätsverhältnis sind in den Abb. 112 und 113 enthalten. Sie zeigen Ergebnisse von Aufnahmen der Agfa-Farbentafel auf gewöhnlichem und panchromatischem Film bei Belichtung mit Nitralampen (gasgefüllten Metalldrahtlampen), Reinkohlen-Bogenlampen und Tageslicht, sowie von Dauerbrand-Bogenlampen mit eingeschlossenem Reinkohlen-Lichtbogen und von Quecksilberdampflampen. Wie aus Abb. 4 zu ersehen ist, zeigen sich beim gewöhnlichen Film nur ganz geringe Unterschiede zwischen den drei erstgenannten Lichtquellen, während sie beim panchromatischen Film ganz erheblich sind. Besonders auffällig tritt dies bei den beiden zuletzt genannten Lichtquellen im Vergleich zur Nitralampe in Abb. 113 hervor. Hier bewirkt der panchromatische Film bei der Dauerbrand-Bogenlampe fast gar keinen,

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tabelle 2.

Relative Aktinität und Farbentreue bei Belichtung gewöhnlichen und panchromatischen Films mit verschiedenen Lichtquellen.

Art der Lichtquelle	Photometrische Lichtausbeute photom. Lumen / Watt	Für gewöhnlichen Film: Relative Aktinität photogr Lumen / photom. Lumen	Aktinische Lichtausbeute photogr. Lumen / Watt	Farbentreue	Für panchromatischen Film: Relative Aktinität photogr. Lumen / photom. Lumen	Aktinische Lichtausbeute photogr. Lumen / Watt	Farbentreue
Luftleere Metalldrahtl.	10	1,0	10	1 : 17	1,0	10	1 : 2,8
Nitralampe	20	1,6	32	1 : 16	1,35	27	1 : 3
Nitralampe	30	1,8	54	1 : 16	1,45	43	1 : 3,5
Reinkohlen-Bogenlampe .	10	3,5	35	1 : 23	2,5	25	1 : 6
Effekt-Bogenlampe mit weißen Kohlen . . .	20	4,0	80	1 : 18	2,5	50	1 : 7
Effekt-Bogenlampe mit gelben Kohlen . . .	32	0,9	29	1 : 18	0,7	22	1 : 4
Dauerbrand-Bogenlampe .	7,5	22,0	165	1 : 29	10,5	80	1 : 23
Quecksilber-Dampflampe	12,5	3,0	38	1 : 20	2,5	31	1 : 16
Tageslicht	—	3,5	—	1 : 16	2,5	—	1 : 7

und bei der Quecksilberdampflampe auch nur einen recht geringen Einfluß auf die Verbesserung des Aktinitätsverhältnisses der verschiedenen Farben.

Eine ausführliche Zusammenstellung von Messungsergebnissen für die relative Aktinität und für die

Farbentreue, die bei Belichtung von gewöhnlichem und panchromatischem Film mit den hauptsächlich in Frage kommenden

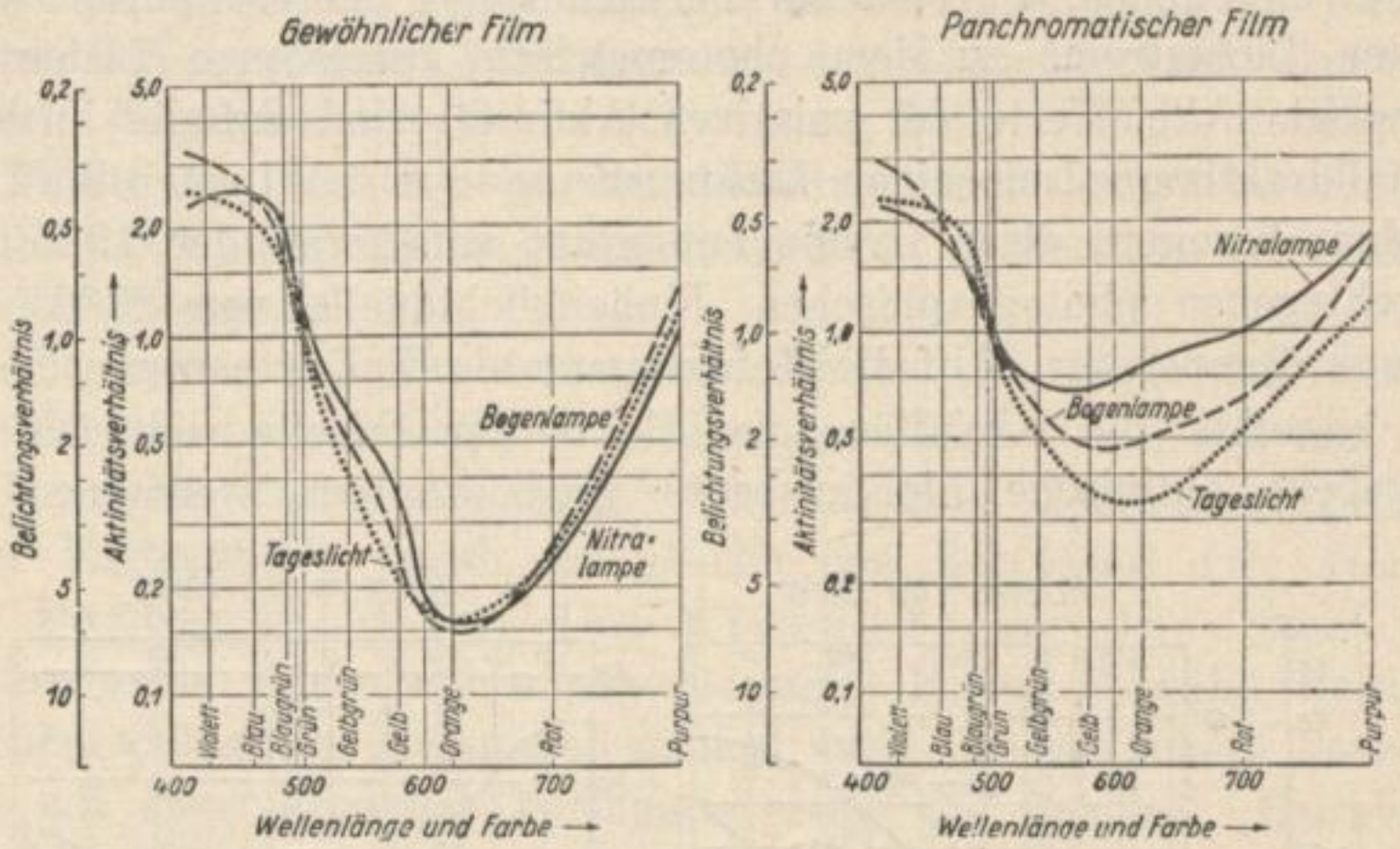


Abb. 112. Aktinitätsverhältnis für die Wirkung verschiedener Farben auf gewöhnlichen und panchromatischen Film bei Beleuchtung mit Nitralampen, Reinkohlenbogenlampen und Tageslicht.

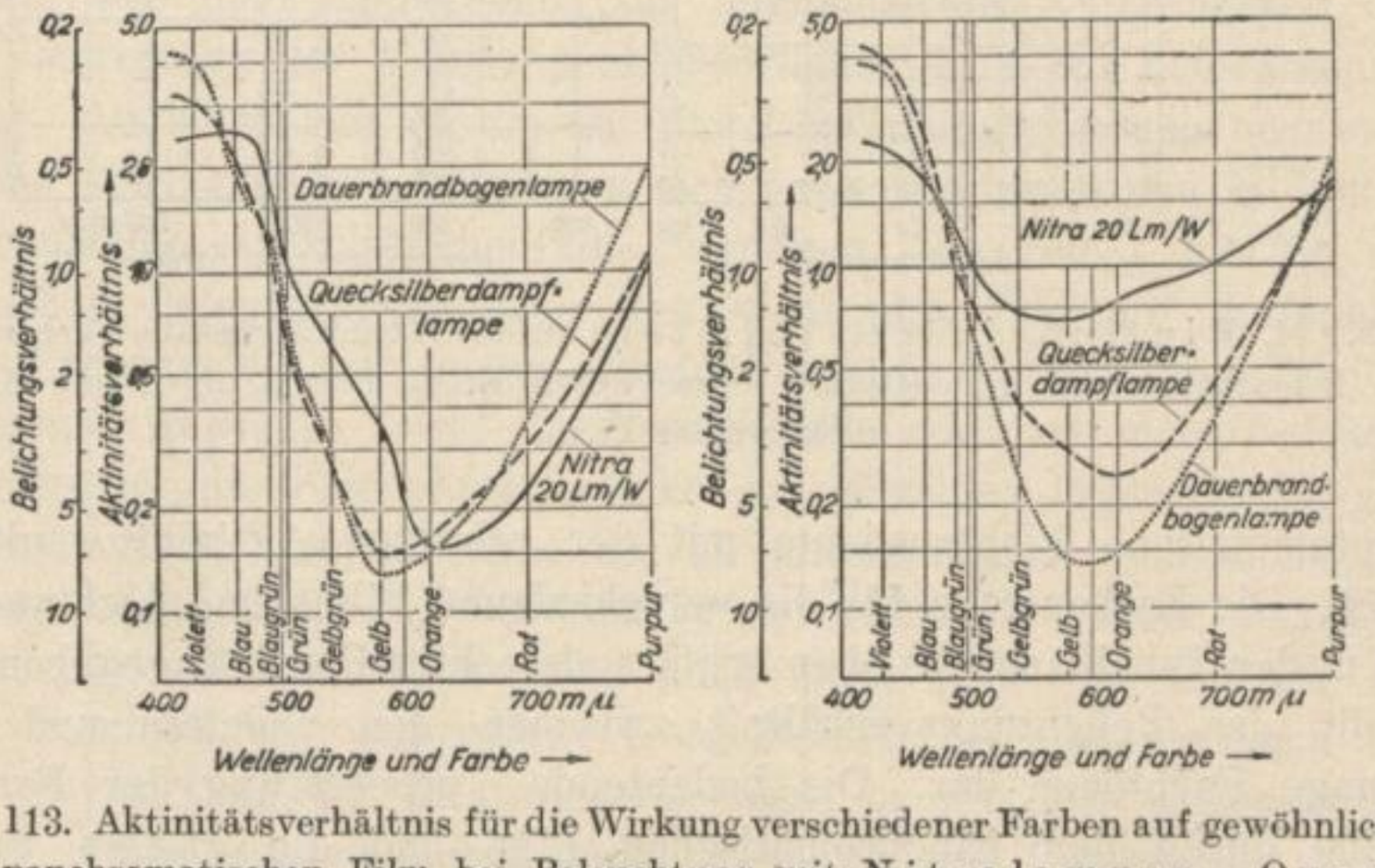


Abb 113. Aktinitätsverhältnis für die Wirkung verschiedener Farben auf gewöhnlichen und panchromatischen Film bei Beleuchtung mit Nitralampen, Quecksilberdampflampen und mit Reinkohlen-Dauerbrand-Bogenlampen.

Lichtquellen erhalten wurde, gibt die Tabelle 2. Sie enthält die mit Hilfe der Farbentafel-Sensitometrie in der hier beschriebenen Weise gewonnenen Messungsergebnisse, über die L. Bloch in der „Kino-

technik“ 1928, Heft 12, S. 317 und Heft 13 Seite 343 berichtet hat. In der Tabelle ist für beide Arten von Filmen die relative Aktinität angegeben, die sich als Verhältnis des photographisch wirksamen Lichtstroms zu dem photometrisch gemessenen Lichtstrom darstellt. Alle Werte der relativen Aktinität sind auf die luftleere Metalldrahtlampe mit einer Lichtausbeute von 10 Lumen/Watt als Einheit bezogen; diese Lampe entspricht annähernd der 1925 vorgeschlagenen photographischen Einheitslichtquelle von 2360° absoluter Temperatur. Auf die Hefnerlampe als Einheit bezogen, besitzt sie ungefähr die Aktinität 4,5. Die in der Tabelle weiterhin angegebene aktinische Lichtausbeute wird erhalten, wenn man die

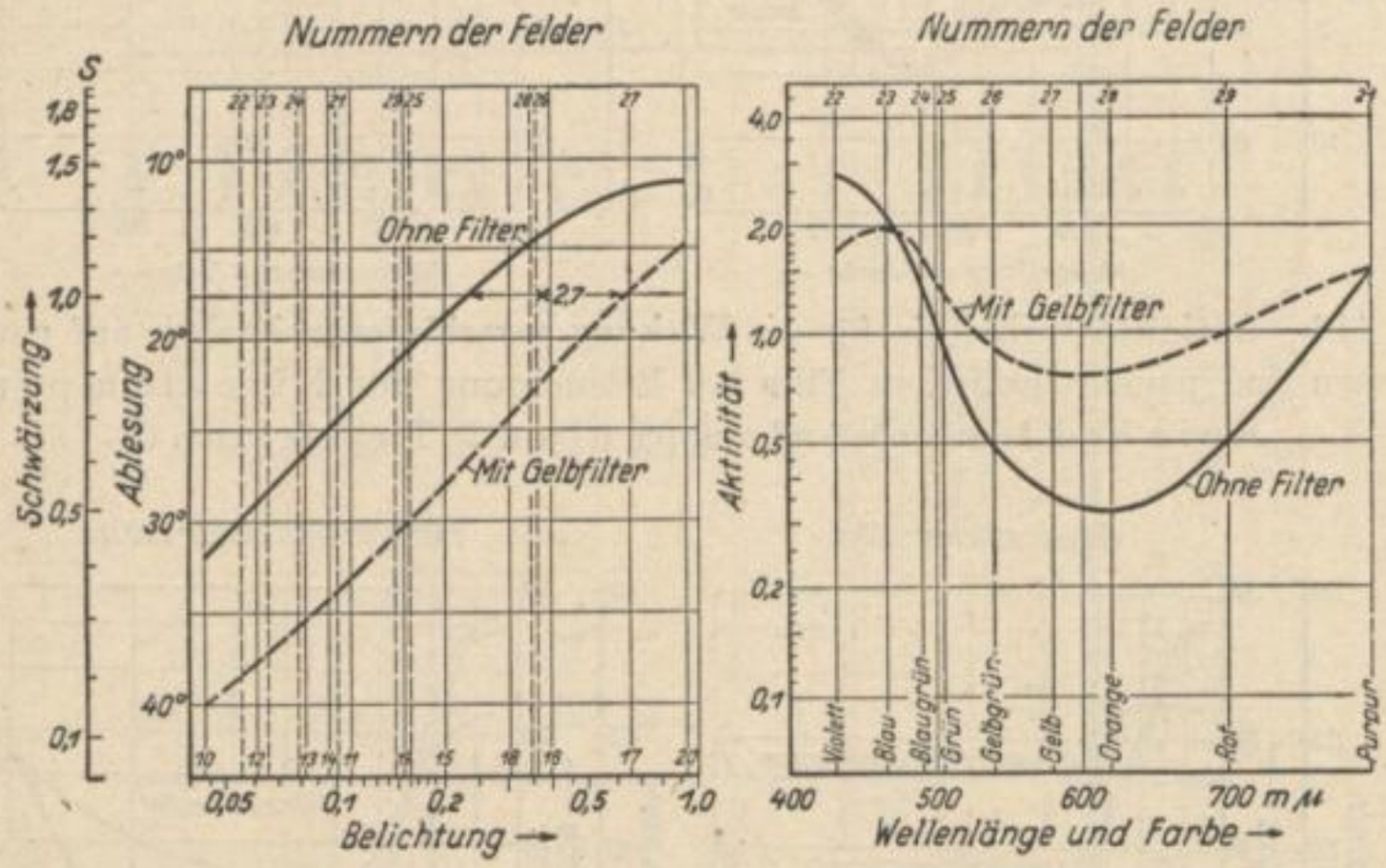


Abb. 114. Einfluß eines Gelbfilters auf die Aktinität und die Farbentreue bei Beleuchtung panchromatischen Films durch Effekt-Bogenlampen mit Kohlen für weißes Licht.

photometrische Lichtausbeute mit der relativen Aktinität multipliziert. Die Farbentreue für die verschiedenen Filme und Lichtquellen ist in der Tabelle so wie oben erklärt als echter Bruch angegeben und stellt das Belichtungsverhältnis zwischen den violetten und den orange Farbtönen dar. Die bedeutende Verbesserung der Farbentreue durch den panchromatischen Film und die großen Unterschiede in der Farbentreue der verschiedenen Lichtquellen gehen aus diesen Zahlen deutlich hervor.

Als weiteres Beispiel für die Anwendung der Farbentafel-Sensitometrie ist in Abb. 114 das Messungsergebnis für den Einfluß eines Gelbfilters bei Belichtung panchromatischen Films

durch Effekt-Bogenlampen mit Kohlen für weißes Licht dargestellt. Aus den auf der linken Seite der Abb. wiedergegebenen Schwärzungskurven mit und ohne Filter kann die durch Anwendung des Filters erforderlich werdende Verlängerung der Expositionszeit ermittelt werden. Es ergibt sich für die Schwärzung 1 die 2,7fache Belichtung mit Filter. Die rechte Seite der Abbildung läßt den verbessernden Einfluß des Filters auf die helligkeitsgetreue Wiedergabe der Farben deutlich erkennen.

Die zahlenmäßigen Messungsergebnisse der Farbentafel-Sensitometrie sind naturgemäß bis zu einem gewissen Grade von der Art der benutzten Farben abhängig. Wie sich beim Gebrauch verschiedener Farbentafeln ergab, ist jedoch der Einfluß der Wahl der Farbentafel auf das Messungsergebnis nicht besonders groß, sofern nur annähernd reine Farben gewählt werden. Für überschlägliche Messungen genügt auch eine einfachere Farbentafel mit einer erheblich geringeren Zahl von Feldern. Beispielsweise würde schon ein schwarzes, dunkelgraues, hellgraues und weißes Feld einerseits und ein violettes und Orangefeld andererseits hierfür ausreichen. Die beiden farbigen Felder werden dann zur angenäherten Ermittlung der Farbentreue benutzt und die vier farblosen Felder dienen, wie oben angegeben, zur angenäherten Aufzeichnung des zur Verwertung der Messsung erforderlichen Teils der Schwärzungskurve. Auch hinsichtlich der für die Schwärzungsmessung anzuwendenden Meßgeräte kann man sich mit einfacheren und billigeren Instrumenten erforderlichenfalls begnügen. Es reicht hierfür ein einfacher Beleuchtungsmesser aus, wenn das Bild der Aufnahme der Farbentafel mit einem Projektionsapparat auf eine Projektionswand geworfen wird. In diesem Falle wird mit dem Beleuchtungsmesser die Beleuchtungsstärke der einzelnen Felder der Wand einmal mit und einmal ohne die zu untersuchende Aufnahme gemessen und hieraus die Schwärzung der einzelnen Felder ermittelt. Wenn diese Werte zahlenmäßig auch nicht dieselben sind wie die mit einem Schwärzungsmesser festgestellten, so sind sie doch für eine Verwertung der Messungsergebnisse in der oben gekennzeichneten Weise gut zu gebrauchen, wenn an die Genauigkeit keine großen Ansprüche gestellt werden.

Als besonders geeignet erweist sich die Farbentafel-Sensitometrie für die Untersuchung der farbentreuen Wiedergabe von Autochromplatten. Die Farbe der einzelnen Felder der Tafel einerseits und ihre Wiedergabe auf den Platten andererseits

wird in diesem Falle mit dem oben erwähnten Unimeter nach dem Dreifarbenmeßverfahren gemessen. Hierbei wird der Reihe nach ein rotes, grünes und blaues Farbmeßglas vor das Photometerokular geschoben. Die auf diese Weise durch drei Werte festgelegte Farbe der einzelnen Felder des Originals und der Abbildung wird in ein Koordinatensystem eingetragen und aus der gegenseitigen Lage der zugehörigen Punkte für Original und Bild kann man nicht nur den Grad der farbentreuen Wiedergabe, sondern auch den Charakter der Abweichung leicht beurteilen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SECHZEHNTES KAPITEL.

ALLGEMEINES ÜBER NORMALLICHTQUELLEN. — FARBTEMPERATUR. — SONNENSTRAHLEN UND SOLARKONSTANTE. — ÜBERGANG VON EINER LICHTQUELLE AUF DIE ANDERE. — FILTERUNG VON NORMALLICHT.

I. Die grundlegenden Eigenschaften der Normallichtquellen.

Die Bestimmung der Lichtempfindlichkeit und Gradation einer photographischen Platte erfolgt mit konstanten Lichtquellen von bestimmter Intensität und bekannter spektraler Zusammensetzung; man nennt sie Normal-Lichtquellen oder Einheits-Lichtquellen (englisch „Standard Light").

Es existieren zur Zeit zwei primäre Lichteinheiten: die Hefnerkerze und die Internationale Kerze. Die erstere, vor allem in Deutschland gebräuchliche Einheit, beruht auf der seinerzeit von Hefner-Alteneck konstruierten Hefnerlampe; die Internationale Kerze hingegen beruht auf Sätzen von Kohlefadenlampen, die in Amerika beim Bureau of Standards in Washington, in England beim National Physical Laboratory zu Teddington und in Frankreich beim Laboratoire Centrale d'Electricité zu Paris aufbewahrt werden. Man nimmt an, daß sich das Mittel aus der Lichtstärke dieser Kohlefadenlampe nicht ändert.

Bei der Schaffung der Internationalen Kerze war deren Größe so definiert worden, daß sie $^{10}/_{9}$ der Hefnerkerze betrug (visuelle Helligkeit). Im Jahre 1913 zwischen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg und den die Internationale Kerze aufrecht erhaltenden Staatsinstituten durchgeführte Vergleichsmessungen hatten ergeben, daß dieses Ziel, die Relation 1 Internationale Kerze $= {}^{10}/_{9}$ Hefnerkerze, sowohl bei der Farbe der Kohlefadenlampe als auch bei der Farbe der Wolfram-Vakuumlampe erreicht worden war.

Die erste Vergleichung nach dem Kriege fand 1924 statt; seit diesem Zeitpunkt sind die beteiligten Institute (das Bureau of Stan-

dards, das National P. sical Laboratory und die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in dieser Frage dauernd in Verbindung geblieben. Alle diese Vergleichungen haben ergeben, daß die Beziehung 1 Internationale Kerze = $^{10}/_{9}$ Hefnerkerze für Kohlefadenlampen unverändert geblieben ist, hingegen für die Wolfram-Vakuumlampe sich um $3^{1}/_{2}$ % geändert hat[1]).

Die aufgetretenen Diskrepanzen haben dazu geführt, daß im September 1927 die in Bellagio anläßlich einer Tagung der Internationalen Beleuchtungskommission anwesenden Vertreter der vier Staatsinstitute den ganzen Fragenkomplex eingehend erörtert haben. Es ist dann ein gemeinsames Arbeitsprogramm im einzelnen aufgestellt worden, das die tätige Mitarbeit aller vier Staatsinstitute vorsieht, um so durch gemeinsame internationale Arbeit die aufgetretenen Schwierigkeiten zu beseitigen.

Auf diese primären Normallichtquellen werden andere sekundäre Lichtquellen bezogen, sowohl in der visuellen als auch in der photographischen Photometrie und Sensitometrie.

Diese Angaben gelten für die visuelle Helligkeit. Die photographische Wirkung ist aber bei Kohlenfaden- und Wolframfadenlampen gleicher visueller Helligkeit eine verschiedene zufolge der „relativen Aktinität".

Für die Verwendung dieser primären Normallichtquellen gilt in der photographischen Sensitometrie der von Eder am Internationalen Kongreß für angewandte Chemie in Wien (1898) aufgestellte Leitsatz: „Die Strahlen der normalen Lichtquelle sollen direkt auf die photographische Schicht wirken, ohne daß absorbierende oder reflektierende Schichten eingeschaltet werden."

Diese Forderung ist allerdings nur bei einigen sensitometrischen Methoden erfüllt, z. B. bei Sensitometern mit Zeitskala (Scheiner-Sensitometer usw.), während bei Skalen-Photometern mit Intensitäts-Skala, wie z. B. bei staffelförmigen Papierskalen, beim Graukeil usw., absorbierende Medien eingeschaltet werden, und beim Röhren-Photometer muß man das wirkende Licht durch Diffusion oder Reflexion gleichmäßig zerstreuen. — In letzteren Fällen müssen die optischen Verhältnisse und eventuelle spektrale Veränderung des Normallichtes berücksichtigt werden.

Als Einheit der Lichtstärke dient in Deutschland und Österreich die Hefner-Normalkerze (Hefners Amylazetat-Lampe).

1) Referat von W. Dziobek, „Forschungen und Fortschritte". Nachrichtenblatt der Deutschen Wissenschaft u. Technik. 1928. März.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Stärke der visuellen Beleuchtung, welche eine Lichtquelle von 1 Normalkerze (Hefner-Kerze) im Abstand von 1 m auf einer weißen Fläche im Maximum hervorbringt, nennt man Meterkerze oder ein „Lux". Die photographische Wirkung einer Meterkerze während einer Sekunde heißt Meterkerzen-Sekunde (M. K. S.) oder ein „Phot". (Englisch: Candle meter second = cms.; französisch: Bougie meter seconde = Bms.)

Tabelle der Empfindlichkeiten in Abhängigkeit von der Beleuchtungsintensität (bezogen auf Lux-Meterkerzen) bei gleichem Werte des Produktes J. t (von L. A. Jones und G. A. Chambers, 1928).

Plattensorte	Empfindlichkeit		Gamma		Optimale
	0,25 Lux	30 Lux	0,25 Lux	30 Lux	Beleucht.
Film, ortho. rapid	288	190	0,80	0,74	1,0
Film, panchrom. rapid . . .	513	427	0,80	0,88	2,5
Gewöhnl. Platte, rapid . . .	725	427	0,80	0,92	0,5
Gewöhnl. Platte, mittel . . .	316	170	1,2	1,5	2,0
Panchromat. Platte, rapid . .	288	316	1,0	1,2	2,5
Panchromat. Platte, wenig empfindlich	169	162	2,0	2,4	—
Gewöhnl. Platte, wenig empf.	34	22	2,0	2,4	—
Positiv-Film	20	25	1,6	1,8	40
Duplikatfilm	2,5	5	0,8	0,8	20

Die üblichen sensitometrischen Ermittlungen mit geringerer Lichtintensität führen zu Empfindlichkeiten vom Negativ- zum Positivfilm wie 15:1 bis 20:1, ein Verhältnis, das weit größer ist, als praktische Versuche in der Kino-Industrie es erkennen lassen. Mit hohen Lichtintensitäten und kurzer Belichtung ergab sich ein Verhältnis von 7,5 : 1, das mit dem Ergebnis der Filmindustrie und Praxis übereinstimmt.

Diese relativen Werte von sehr hohen und von niedrigen Lichtintensitäten bei der Sensitometrie gelten nur in diesen extremen Fällen. Schon bei dem üblichen Kopieren von Gaslichtpapier liegen schon weniger extreme Fälle vor, bei denen sich die Sensitometeranzeigen bei schwachem Licht genügend der Praxis nähern und Zahlen liefern, die im üblichen Spielraum der Belichtung liegen und somit keine irreführenden fühlbaren Abweichungen geben. Es sind also die üblichen Methoden der Sensitometrie mit schwachen Lichtquellen trotz alledem nicht zu verwerfen; das Magnesiumlicht, mit seiner relativ hohen Lichtintensität und sekundenlanger Belichtung nähert sich der Praxis der Negativphotographie so sehr, daß recht gute Mittelwerte resultieren (Eder).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Für photographische Zwecke ist die Intensität und die spektrale Energieverteilung des Normallichtes von Bedeutung.

Die Lichtquellen, deren man sich bei der Sensitometrie anfänglich bediente und die noch heute häufig verwendet werden, sind von geringer Intensität (Hefner-Kerze, Scheiner-Benzinkerze, gedämpfte Glühlampen, oder reflektiertes Licht) und dementsprechend ist die Belichtungszeit ziemlich lang (z. B. beim Scheiner-Sensitometer 1 Minute). Nun weiß man, daß der photographische Effekt einer Belichtung von dem absoluten Wert des Beleuchtungsfaktors (der Lichtintensität) abhängt, weil es für jede Emulsion eine optimale Belichtung (nach dem Kronschen Gesetz, s. S. 190) gibt, die für einen bestimmten Wert des Produktes $J \cdot t$ den maximalen Effekt ergibt, während man bei gleichen Belichtungen mit höheren oder niedrigeren Beleuchtungswerten geringere Dichten erzielt.

Deshalb entsprechen kurze Belichtungen mit sehr hellen Lichtquellen im allgemeinen besser den Durchschnittsanforderungen der Praxis, wenn es sich um Momentaufnahmen handelt; dies spricht für die Verwendung von Magnesiumlicht im Graukeilsensitometer und wurde von L. A. Jones und G. A. Chambers auch für ihr Sensitometer mit hellen Tages-Lampen anerkannt.

Andererseits bieten die leicht herzustellenden Normallichtquellen geringer Intensität auch gewisse Vorteile der bequemen und sicheren Handhabung, so daß sie immer noch für die technische Plattenprüfung mit Intensitäts-Skalen verwendet werden, weil sie immerhin eine gute Orientierung über die charakteristischen Eigenschaften und Empfindlichkeit einer Emulsion gestatten.

II. Die Farbenverteilung in verschiedenen Lichtquellen. — Strahlungsgesetze. — Farbtemperatur.

Die Farbenverteilung im Spektrum des Sonnenlichtes ist eine andere als die der terrestrischen Lichtquellen. — Im allgemeinen hängt die Verteilung der Farben der von einer Lichtquelle emittierten Strahlung von der Höhe der Temperatur und der Art des strahlenden Körpers ab. — Die Strahlungsgesetze eines erhitzten schwarzen Körpers oder Total-Radiators, der ein kontinuierliches Spektrum aussendet, sind genau bekannt[1]). Als

---

1) Die Gesetze der gesamten Strahlungsmengen eines glühenden schwarzen Körpers in seinem Emissionsspektrum sind von M. Planck 1900 gegeben worden. Näheres hierüber s. insbesondere: E. Gehrke, Handbuch d. physik. Optik. Verlag von J. A. Barth, Leipzig. Bd. I. 2. Hälfte. 1927—28. enthält „allgemeine Grundlagen d. Temperaturstrahlung“ von Fr. Schrötter; „Strahlung des schwarzen

„grauen Strahler“ bezeichnet man einen solchen, der dem Gesetz des schwarzen Strahlers folgt, aber eine andere Strahlungskonstante besitzt.

Die Energieverteilung im Spektrum hängt mit der Temperatur des strahlenden Körpers eng zusammen. — Mit steigender Temperatur rücken die hellsten Stellen im Spektrum nach dem Violett hin vor, wie bekanntlich das Planck'sche Strahlungsgesetz genau angibt.

Die spektrale Farbenverteilung einer Lichtquelle wird somit durch die sogenannte Farbtemperatur (engl. „Colour-Temperatur“, franz. „Temperature de couleur“) bestimmt. Man drückt dies in Graden der absoluten Temperatur aus, deren Nullpunkt bei — 273° C liegt[1]).

Diese absoluten Temperaturgrade (° absol.) sind identisch mit der Kelvin-Skala (° K).

Die visuelle, auf das menschliche Auge wirkende Helligkeit fällt bekanntlich mit der photographischen Helligkeit (aktinischen Intensität) nicht zusammen. Das Verhältnis der aktinischen Intensität zur visuellen Helligkeit nennt man „relative Aktinität“ (siehe Kapitel XVII).

Die meisten Aufnahmen in der angewandten Photographie werden bei Tageslicht mit Glasoptik hergestellt und in diesem Falle kommt vor allem das Spektralgebiet von der Wellenlänge 350 bis etwa 700 $\mu\mu$ für gewöhnliche Brom-, Jod- und Chlorsilberplatten, einschließlich der farbenempfindlichen Platten, in Betracht.

Das Sonnenlicht hat als ideal weißes Licht zu gelten. Setzt man die Weiße des Sonnenlichtes = 100, so enthält nach L. A. Jones (Abridg. Scient. Public. Eastman-Kodak 1913, S. 44).

Klares blaues Himmelslicht	nur 60%	Weiß	und	40%	der	Nuance	von	472 $\mu\mu$,		
Die Hefnerkerze . .	14%	Weiß	und	den	Rest	einer	Nuance	von	593 $\mu\mu$,	
Wolframfadenlampe .	35%	„	„	„	„	„	„	„	588 $\mu\mu$,	
Kohlenbogen mit 1,8 Ampère .	59%	„	„	„	„	„	„	„	584 $\mu\mu$,	
Kohlenbogen mit 5 Ampère .	67%	„	„	„	„	„	„	„	584 $\mu\mu$,	
Azetylenlicht	36%	„	„	„	„	„	„	„	585 $\mu\mu$.	

Körpers“ von E. Gehrke. — Ferner: Berliner u. Scheel, Physikal. Handwörterbuch 1924, S. 762. — Plotnikow, Photochemische Versuchstechnik. 22. Aufl. 1928. S. 126. — Nach Mitteilungen der Physik.-Techn. Reichsanstalt in Charlottenburg wird die Berechnung der Energieverteilung aus der Farbtemperatur außerordentlich erleichtert durch die Tafeln „Energy distribution of Planckian radiator“ die vom Bureau of Standards in Washington berechnet und in ihren „Misc. Public.“ Nr. 56 (1924) veröffentlicht wurden und dort käuflich erhältlich sind.

1) Um Celsiusgrade in absolute Temperaturgrade zu verwandeln, muß man zu ihnen 273 addieren.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Diese Gegenüberstellung soll veranschaulichen, wie weit sich die künstlichen Lichtquellen von der Weiße des Sonnenlichtes entfernen.

Abb. 115 gibt die Kurven der Lichtenergie in verschiedenen Spektralbezirken; bei den verglichenen Lichtquellen ist die Energie im Rot bei der Wellenlänge 700 $\mu\mu$ gleich 100 Prozent gesetzt. Die Kurve der Vakuum-Metallfadenlampe, wie sie in der Zimmerbeleuchtung Verwendung findet, fällt nach der blauen Seite des Spektrums sehr steil ab; die Strahlung dieser Lampe ist im Rot unvergleichlich viel stärker als im Blau. Die Kurve der Kohlen-Bogenlampe fällt gegen Blau nur ganz allmählich ab und besitzt bei 400 $\mu\mu$ noch eine bedeutende Helligkeit. Das Magnesiumlicht verhält sich ähnlich dem Kohlen-Bogenlicht.

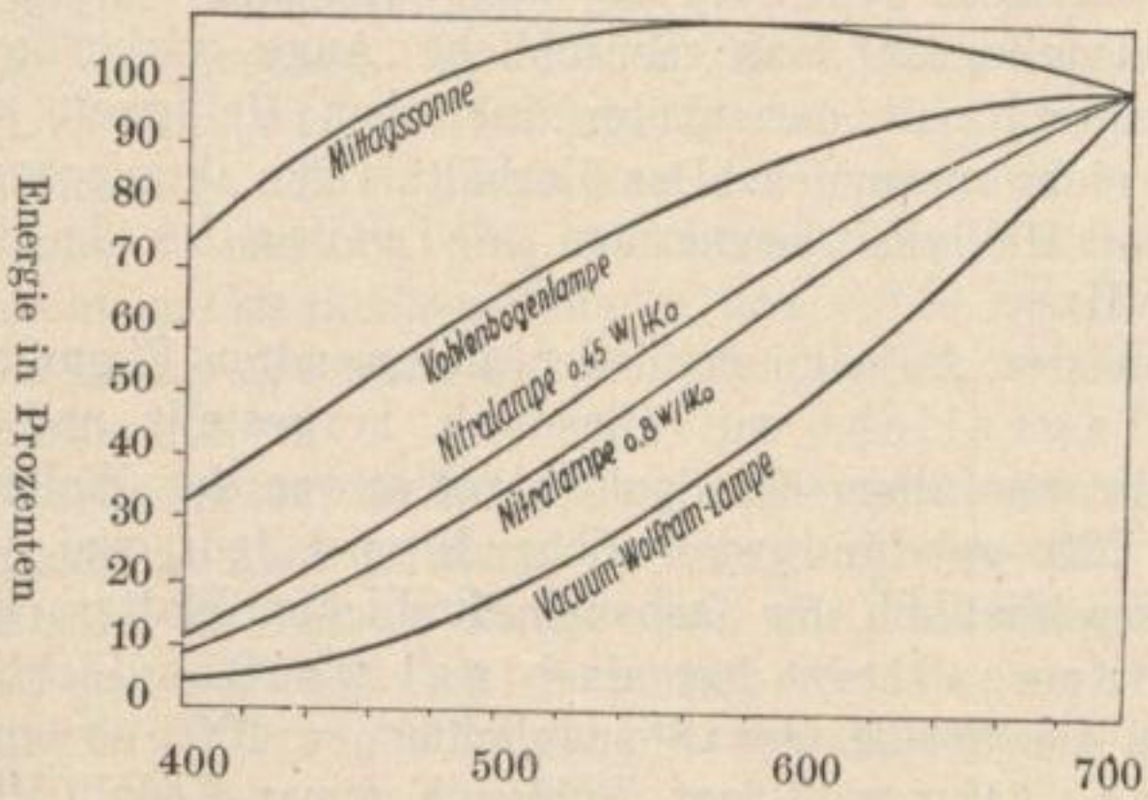


Abb. 115. Spektrale Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen (Jacobsohn und Diehle).

Die verschiedene Farbenverteilung in verschiedenen Lichtquellen wirkt sich bei photographischen Proben hinter Dreifarben-Lichtfiltern naturgemäß aus.

So fand A. Hnatek bei genauen Versuchen an der Wiener Sternwarte bei Verwendung genau definierter blauer, grüner und roter Lichtfilter[2]) für eine 50kerzige elektrische Metallfadenlampe, für eine kleine Bogenlampe von 3 Ampère (Reinkohle) und Sonnenlicht (30 bis 40° Sonnenhöhe) folgende Belichtungszeiten, die denselben photographischen Effekt auf panchromatische Bromsilbergelatine ergaben:

---

1) Nach Kurt Jacobsohn und Fritz Diehle, Die Wahl des Glühlichtes für panchromatische Atelier-Aufnahmen. („Filmtechnik". 1928. S. 203).

2) A. Hnateks Blaufilter hatte eine Transparenz von 370—525 $\mu\mu$, das grüne, 485—588 $\mu\mu$ und das rote von 560 $\mu\mu$ aufwärts (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1923, Bd. 22, S. 92).

Lichtquelle	Belichtungszeit für Lichtfilter Blau	Grün	Rot
Elektrische Metallfadenlampe (50 Kerzen) . .	1	1	1
Elektrischer Kohlenbogen (3 Ampère)	1	1,70	4,12
Sonnenlicht (30—40 Grad)	1	2,20	6,80

Die Untersuchung erfolgte an dem mit diesen Lichtarten beleuchteten weißen Papier. (NB. Elektrisches Bogenlicht von 10 Ampère nähert sich viel mehr dem Sonnenlicht als die in dieser Tabelle angeführten Werte für 3 Amp. angeben. E.)

Die spektrale Zusammensetzung verschiedener Lichtquellen in den drei Grundfarben (Rot, Grün und Blau), bezogen auf die strahlende Energie im Rot (bei 700$\mu\mu$, also zwischen den Fraunhoferschen Linien *B* und *a*) =100 Prozent, stellte Kurt Jacobsohn (Kinotechnik 1928, S. 182) in folgender Tabelle zusammen:

	400 $\mu\mu$ (Blau)	550 $\mu\mu$ (Grün)	700 $\mu\mu$ (Rot)
Vacuum-Lampe	4,2 „	32,5 „	100 „
Nitra-Lampe 0,8 W/HK ∅	8,4 „	51,2 „	100 „
Nitra-Lampe 0,45W/HK ∅	11,3 „	58,3 „	100 „
Kohlenbogenlampe	32,5 „	80 „	100 „
Mittagssonne	73 „	109 „	100 „

Ein Vergleich der Kurven ergibt z. B., daß die Vakuum-Lampe bei gleichem Rot = einen bedeutend geringeren Blau-Grün-Gehalt hat als die Nitra-Lampe, während diese hinwiederum in dieser Hinsicht der Kohlenbogenlampe und der Sonne nachsteht.

III. Die Farbtemperatur verschiedener Lichtquellen.

Die Farbtemperatur einer Lichtquelle ist für die spektrale Verteilung der Energie von größter Bedeutung. Die „Farbtemperatur“ ist jene in absoluten Graden ausgedrückte Temperatur, bei der ein erhitzter schwarzer Körper in derselben Farbe des Lichtes erscheint wie der betreffende Strahler.

Je höher die Farbtemperatur, desto mehr nähert sich die Farbe jener des Sonnenlichtes, dessen hohe Temperatur durch keine künstliche Lichtquelle erreicht werden kann; aber man kann einen Ersatz dafür finden.

Von der Farbtemperatur bemerkt Ch. Fabry am 6. Kongreß f. Photogr. in Paris (1925): „Diese Temperatur kann sehr verschieden von der wahren Temperatur der Lichtquelle sein, welche für unseren Fall kein Interesse darbietet. Die Leuchtkraft der Lichtquelle kann vielleicht niedriger sein, als jene eines glühenden schwarzen Körpers von gleicher Temperatur. Z. B. ist die Farbtemperatur für eine Azetylenflamme 2360 Grad absolut. Bei dieser Temperatur strahlt ein schwarzer Körper ungefähr 300 Kerzen pro Quadratzentimeter aus, die Azetylenflamme aber

nur 6—8 Kerzen, d. i. den 40. Teil. Dies ist aber ohne Bedeutung; die Spektralkurven der Energie sind in einer willkürlichen Skala eingezeichnet und die dazugehörigen Beziehungen kommen allein in Betracht" (Rapports des Kongresses 1926, S. 82). — Beim elektrischen Bogenlicht mit Reinkohle als grauer Strahler ist die Farbtemperatur mit der wahren Temperatur identisch.

Die zulässige Fehlerweite bei der Bestimmung der Farbtemperatur von Lichtquellen ist bei niedrigen Temperaturgraden kleiner als bei hohen Farbtemperaturen. — Für strenge Beobachtungen mit einer Fehlerweite von ± 5% der Lichtintensität ergibt sich eine Toleranz in der Messung der absoluten Farbtemperatur, die nach den Beschlüssen des VI. Internationalen Kongresses für Photographie in Paris 1925 in folgender Tabelle ihren Ausdruck findet:

Für die absolute Farbtemperatur	Toleranz
2000° absol.	± 28° absol.
2550° „	± 44° „
3000° „	± 63° „
4000° „	± 110 „
5000° „	± 175° „

Für phototechnisch-sensitometrische Empfindlichkeitsbestimmungen ist aber eine wesentlich größere Fehlerweite als 5% zulässig.

Charles Fabry gab folgende Tabelle der Werte für die Farbtemperatur in absoluten Temperaturgraden (° K) an, die wir durch Angabe von Huse und Jones ergänzen:

Hefner-Lampe	1830°
Pentanflamme (nach E. Huse und L. A. Jones) .	1920°
Elektr. Kohlenfadenlampe	2075°
Azetylenflamme	2360°
Im Vakuum brennende Wolframlampe	2450°
Wolframlampe mit Gasfüllung	2700°
Mittleres Sonnenlicht	5000°

Das National Physical Laboratorium in London und die „Scientific and technical Group" der Royal Photogr. Society in London gaben für die Farbtemperatur einiger Standard-Lichtquellen (Phot. Journ. 1925, S. 55) folgende Werte an, die wir durch die Anführung der Farbtemperatur des Magnesiumlichtes nach Dziobek (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928, Bd. 25, S. 290) ergänzen.

Wolframfadenlampe (8,2 Lumen/Watt)	2360° absol.
Gasgefüllte Wolframlampe (20 Lumen/Watt)	2950° „
Magnesium an der Luft brennend	3700° (+ 75° absol.)
Elektrischer Kohlenbogen (Reinkohle)	3700° absol.
Mittleres Mittags-Sonnenlicht in der Seehöhe von Washington	5000° „

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wahrscheinlich ist die Farbtemperatur des Magnesiumlichtes etwas niedriger als die des elektrischen Kohlenbogens und wird wohl richtiger mit annähernd 3680° absol. anzunehmen sein, weil dies besser dem Verhalten gegenüber photographischen Dreifarben-Lichtfiltern entspricht (Eder).

Der Nernst-Brenner kann auf 2400° absol. geschätzt werden.

Die „Kinolampe“ (Nitralampe) der „Osramlampen-Gesellschaft (Berlin-Wien) der Type 15 Volt 600 Watt besitzt bei ihrer hohen Belastung eine Farbtemperatur = 3350° absol. (nach Mitt. d. Osram-Gesellschaft), während die gewöhnlichen Nitralampen eine Farbtemperatur von 2920—2980° absol. haben.

Die Farbtemperatur der Wolfram-Kathode im elektrischen Lichtbogen in einer Stickstoff-Füllung der Lampe liegt zwischen 2600 und 3300° absol. (Stoeckelberg, Helvetica Physica Acta 1928; Phot. Indust. 1928, S. 1277), bezogen auf den Kohlenbogen mit 3700° absol.

Nach Erwin G. Priest ist die Farbtemperatur des elektrischen Bogens im Krater der Reinkohle zu 65 Volt und 10 Ampère = 3780 Grad absolut, nach Waidner und Burgeß = 3680 bis 3720 Grad absolut (Scientific Papers of the Bureau of Standards Washington 1922, Nr. 443).

Die wichtigste Literatur über die Farbtemperatur und Energieverteilung im Kohlen-Bogenlicht ist nach Mitteilungen der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg:

Waidner und Burgess: On the temperatur of the arc, Bulletin of the Bureau of Standards 1, 109, 1904;

Lummer: Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik, Seite 169 ff. (Verlag R. Oldenbourg, München und Berlin, 1918);

J. G. Priest: Measurement of the color temperature of the more efficient artificial light sources by the method of rotatory dispersion.

F. Patzelt: Scientific papers of the Bureau of Standards, Seite 221, 1922; Über die Temperatur der Krater einiger Bogenlampen, Zeitschrift für techn. Physik **4**, 66, 1923.

Zur Umrechnung der Angaben der schwarzen Temperatur in die wahre Temperatur bzw. Farbtemperatur, die bei Reinkohle als grauem Strahler mit der wahren Temperatur identisch ist, ist die Kenntnis des Absorptionsvermögens der Kohle notwendig; über dieselbe siehe die Arbeit von Pirani: „Über optische Temperaturmessungen“, Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft 1911, Seite 19.

Das weiße Licht des brennenden Magnesiumbandes kommt dem elektrischen Bogenlicht ziemlich nahe. (Vgl. „relative Aktinität“, Kapitel XVII.)

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Eine andere Tabelle über Farbtemperaturen verschiedener Lichtquellen veröffentlichten E. P. Hyde und W. E. Forsythe in den amerikanischen Transactions Illumin. Eng. Soc. 1921, Bd. 16, S. 419, 537, 539:

Lichtquelle	Farb-Temperatur-Grade absol.
Gasflamme, Einlochbrenner	
Flamme 10 cm hoch	1875
Schmetterlingsbrenner	2160
Hefnerlampe	1880
Walratkerze	1930
Paraffinkerze	1925
Pentanlampe	1920
Kerosen-Flamme, flacher Docht	2055
Kerosen-Flamme, runder Docht	1920
Azetylen (Mees-Brenner)	2360
Nernstlampe	2400
Sonne, außerhalb der Atmosphäre	6500
Sonne, an der Erdoberfläche	5600
Mondlicht	4120

Überdies wurden über die Farbtemperatur und Helligkeit von verschiedenen Glühlampen von W. E. Forsythe (1923) folgende Tabelle angegeben:

Lampe	Lumen per Watt	Farbtemperatur (Grade absol.)	Maximale Helligkeit Kerze cm^2
Vakuumlampen:			
50-Watt Kohlenfaden	2,5	2080	55
50-Watt Tantal	4,9	2260	78
10-Watt Wolfram	7,7	2390	128
25-Watt Wolfram	9,8	2493	193
40-Watt Wolfram	10,0	2504	206
60-Watt Wolfram	10,1	2509	211
Gasgefüllte Lampen:			
50-Watt	10,0	2670	469
75-Watt	11,8	2705	563
100-Watt	12,9	2740	605
200-Watt	15,2	2810	781
1000-Watt	20,0	2980	1225
2000-Watt	21,2	3000	1350

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Sonnenenergie, ausgedrückt durch die „Solarkonstante“, auf die Grenze der Atmosphäre bezogen, heißt „exterrestrisch“ (S_e) und auf die Erdoberfläche bezogen, die „terrestrische“ (S_t); beide bei normaler Inzidenz auf 1 cm² pro 1 Min. in gr. cal. gerechnet. Die exterrestrische Solarkonstante wird nach Abbot mit

$$S_e = 2{,}64 \frac{\text{gr. cal.}}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

angenommen. Nimmt man die Sonne als strahlenden schwarzen Körper an, so entspricht dies nach Abbot einer Temperatur der Sonne (exterrestrisch) von etwa 6356° absol. Für die terrestrische Solarkonstante haben die letzten Messungen

$$S_t = 1{,}95 \frac{\text{gr. cal.}}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

ergeben. Das konventionelle mittlere Mittagssonnenlicht in der Seehöhe von Washington wird mit der Farbtemperatur von 5000° absol. angenommen (s. S. 333).

IV. Die Energieverteilung im Sonnenspektrum und die Solarkonstante.

Das Sonnenspektrum spendet uns „rein weißes“ Licht und deshalb ist die Kenntnis der Energieverteilung im Sonnenspektrum von Interesse.

Der Begriff „Sonnenstrahlung“ ist keineswegs ein eindeutiger Begriff, denn ihre Intensität und ihre spektrale Zusammensetzung ändern sich von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit in weiten Grenzen in Abhängigkeit von Sonnenhöhe, Jahreszeit, Meereshöhe und Wechsel der atmosphärischen Zustände usw.

Man kann annehmen, daß das Sonnenlicht außerhalb der Atmosphäre ungefähr 43% infraroter Strahlen, 52% der sichtbaren und 5% der ultravioletten Strahlen enthält. An der Erdoberfläche etwa 40% vom Infrarot, 40% der sichtbaren und nur etwa 1% der ultravioletten Strahlen; diese Verhältnisse ändern sich sehr stark mit der Sonnenhöhe und dem Zustande der Atmosphäre.

Die Energieverteilung im Spektrum des zu uns gelangenden Sonnenlichtes hängt zunächst von der Sonnenhöhe ab.

Es schwankt die von der Sonne ausgehende Strahlung im kurzwelligen Spektralteil sehr viel je nach der Sonnenhöhe mehr als im langwelligen, im Ultraviolett etwa zehnmal mehr als im Gesamtspektrum.

Graphisch wurde die Verteilung der strahlenden Energie im

Sonnenlichte von Abbot und Fowle[1]) an drei verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel (in Amerika) dargestellt. In Abb. 116 ist die Kurve 2 in 4420 m über dem Meeresspiegel aufgenommen, Kurve 3 auf dem Mount Wilson (1750 m) und Kurve 4 in Washington (Meeresspiegel) bestimmt. Aus diesen Kurven berechnen Abbot und Fowle dann noch die Energieverteilung im Sonnenspektrum außerhalb der Atmosphäre (Kurve 1). Die Kurven erstrecken sich von der Wellenlänge zirka 300 $\mu\mu$ bis ins langwellige Ultrarot (Infrarot) von 2500 $\mu\mu$. Man sieht deutlich, wie in geringeren Höhen die Maxima der Strahlung kleiner und kleiner werden und die ultraviolette Strahlung vermindert wird. Es ist bemerkenswert, daß die Kurven ihren Charakter beibehalten und die Lage des Energiemaximums sich nur unwesentlich ändert. Aus dieser Energieverteilung sieht man deutlich, daß nur ein Bruchteil der Gesamtenergie vom Auge wahrgenommen wird; aber er ist derjenige Bezirk, in dem das Maximum der Strahlung liegt. Aus diesen Messungen wird die Temperatur der Sonne mit etwa 6000 Grad absolut berechnet. (Nach dem „Lehrbuch der Strahlentherapie“ von Hans Meyer, Berlin — Wien, 1925. Zweites Kapitel von W. Vahle in Berlin, dem diese Abbildung entnommen ist.)

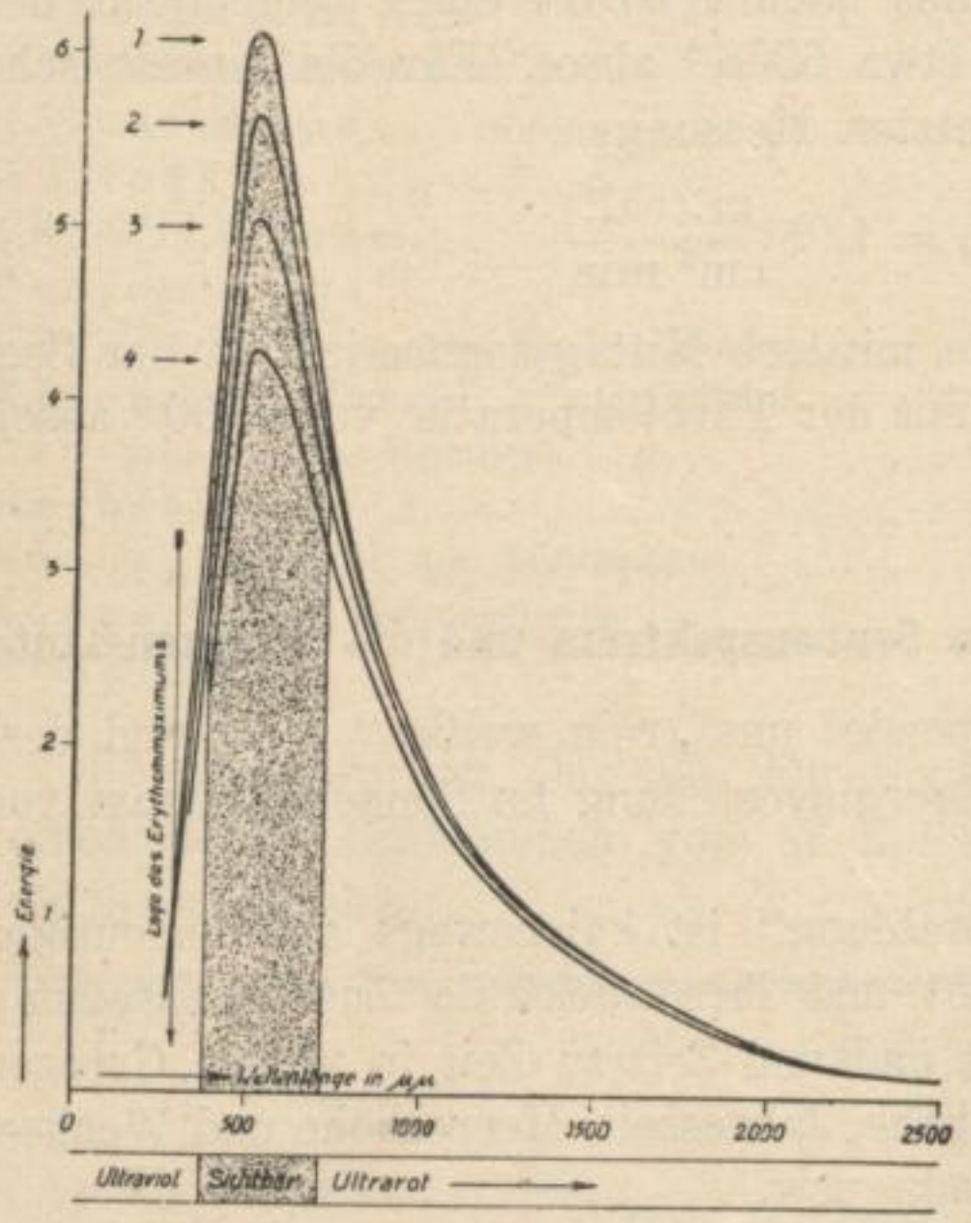


Abb. 116. Änderung der Energie im Sonnenspektrum in verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel.

---

1) Abbot und Fowles Beobachtungen waren am Astro-Physikalischen Observatorium am Mount Wilson angestellt (Annals Astro-Physical. Observatory, Band 2, S. 130 und Bd. 3, S. 197 und 201; Meteorologische Zeitschrift 1914, S. 273).

V. Das konventionelle mittlere Mittags-Sonnenlicht als Standard, die Energieverteilung in seinem Spektrum und ihre graphische Darstellung.

Bei den Internationalen Kongressen in Paris (1925) und in London (1928) wurde die Farbtemperatur von 5000° absol. als repräsentativ für mittleres Sonnenlicht als Standardlicht für Sensitometrie vorgeschlagen. Die spektrale Energieverteilung im mittleren Sonnenlicht differiert in den Spektralbezirken von 350 bis 720 $\mu\mu$ nicht bemerkenswert von einem glühenden Totalstrahler mit der Farbtemperatur von 5000° absolut und dieser Wert von 5000° abs. gilt konventionell als repräsentativ für mittleres Mittags-Sonnenlicht; es ist das Mittel von Sonnenlicht zu Mittag im Sommer- und Wintersolstitium. Dieses weiße Licht kann mit einer elektrischen Glühlampe von der Farbtemperatur 2360° absol. durch geeignete Lichtfilter im Laboratorium nachgeahmt werden und das photographische Negativmaterial verhält sich gegen das konventionelle mittlere Sonnenlicht annähernd gleich dem Licht der gefilterten derartigen elektrischen Glühlampe.

Das so charakterisierte weiße mittlere Sonnenlicht ist nach dem Kongreßbeschlusse in London (1928) als Grundlage der sensitometrischen Messungen, sowie der optischen Kolorimetrie, angenommen geworden.

Die grundlegenden Arbeiten für diese Normale führte C. G. Abbot (vom Smithsonian-Institut) für das amerikanische Bureau of Standards in Washington aus. Von Raymond Davis und K. S. Gibson vom Bureau of Standards rühren die sehr genau festgelegten Filterflüssigkeiten her, die das elektrische Inkandeszenzlicht im Laboratorium in die Energieverteilung der Tageslichtbeleuchtung überführen (s. S. 285 und 339).

VI. Spektrometrische Emissionskurve.

Die spektrale Energieverteilung im Spektrum einer Lichtquelle entspricht dem Verhältnisse zwischen der Energie (J) mit der Wellenlänge (λ) der von der Lichtquelle ausgesandten Strahlung. Die Formel hierfür ist

$$J = f(\lambda).$$

Diese Gleichung wird graphisch dargestellt, indem man die Stärke der ausgesandten Strahlung auf die Ordinate, die Wellen-

1) In den Zonen der Wellenlängen 350 bis 400 $\mu\mu$ bleibt das mittlere Sonnenlicht merklich hinter der Energie der Ultraviolettstrahlung eines Totalstrahlers von 5000° absolut zurück.

länge auf die Abszisse aufträgt. Die daraus resultierende Kurve bezeichnet man als „spektrometrische Emissionskurve“; sie kann je nach der Art der Lichtquelle entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich sein.

Wird die spektrale Zusammensetzung der Strahlung durch die selektive Absorption von Lichtfiltern etc. verändert, so können die geänderten Verhältnisse in derselben Weise ausgedrückt werden. Man darf bei sensitometrischen Versuchen niemals übersehen, daß die Farbenempfindlichkeit einer photographischen Platte eine Funktion der Wellenlänge des wirkenden Lichtes ist.

VII. Relative Energie im Spektrum des Mittagssonnenlichtes.

Für sensitometrische Zwecke sollen nach dem Vorschlage der Optical Society of America am 7. Kongreß für Photographie in London, Juli 1928, folgende Energiewerte im Spektrum des Mittagssonnenlichtes zugrunde gelegt werden, welche von C. G. Abbot (Smithsonian Institut), herrühren und die als konventionelles weißes mittleres Sonnenlicht gelten.

Tabelle der spektralen Energieverteilung im konventionellen mittleren Sonnenlichte als primärer Standard von C. G. Abbot.

λ (m μ)	Relative Energie	λ (m μ)	Relative Energie
350	—	550	101·7
60	16·0	60	100·0
70	20·5	70	98·4
80	25·1	80	97·2
90	30·1	90	95·6
400	45·2	600	95·2
10	57·3	10	94·3
20	65·8	20	93·2
30	69·2	30	92·2
40	77·8	40	91·0
450	86·8	650	89·7
60	92·2	60	88·5
70	96·9	70	86·4
80	99·0	80	84·7
90	100·6	90	82·7
500	101·8	700	80·5
10	101·2	10	78·1
20	101·2	20	76·1
30	101·1	—	—
40	100·9	—	—

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Das Komitee der Optical Society of America empfahl die Strahlung einer Azetylenflamme oder einer normalisierten Metallfadenlampe von der Farbtemperatur 2360° absol. durch Vorschalten von Doppel-Wannen mit geeigneten Kupfer-Kobaltlichtfiltern dem Sonnenspektrum gleichzumachen, worüber später berichtet werden wird.

VIII. Himmelslicht in der Landschaftsphotographie und der Trübungsfaktor.

Das diffuse Himmelslicht zeigt eine etwas andere spektrale Energieverteilung als direktes Sonnenlicht.

L. A. Jones legt für seine photometrisch-photographischen Untersuchungen im Forschungs-Laboratorium der Eastman-Kodak Co. in Rochester (Mitt. 301. — Phot. Ind. 1927, S. 1123) die in Abb. 117 graphisch dargestellte Verteilung der Energie des Tageslichtes zugrunde, die sich von der Wellenlänge 300 bis 700 $\mu\mu$ erstreckt, also vom Beginn des Ultraviolett bis gegen Ende des Rot.

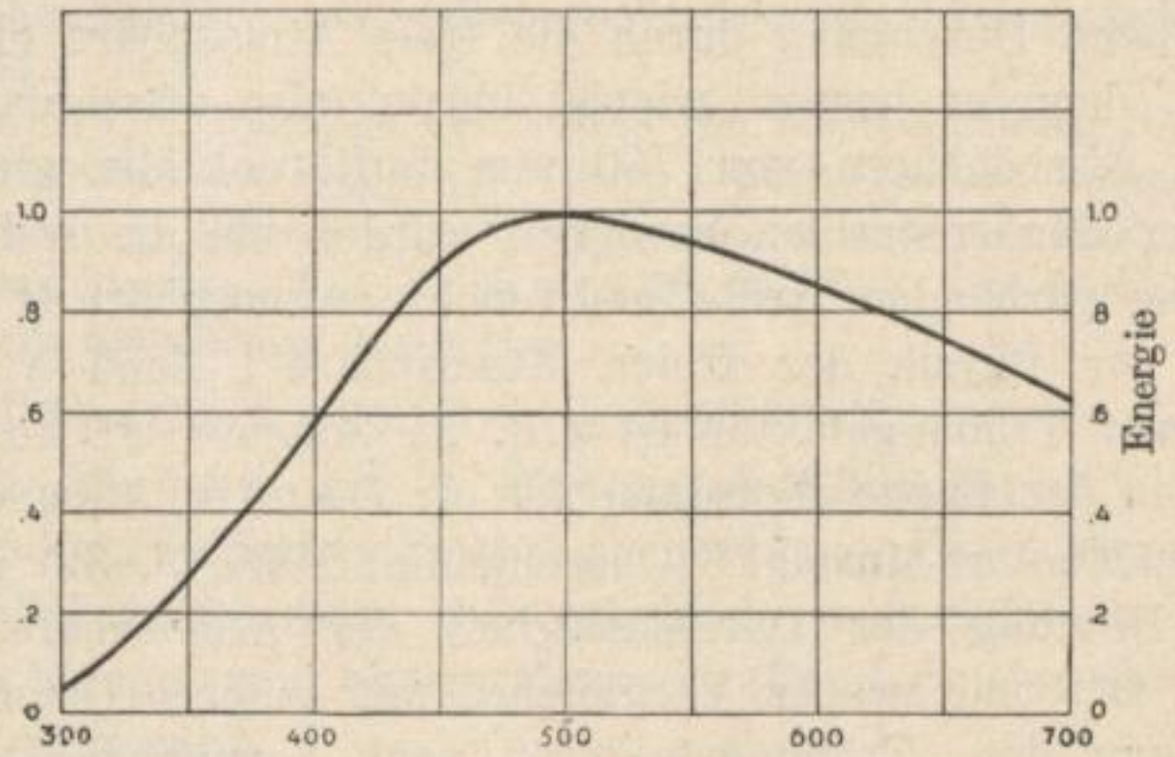


Abb. 117.

Energie-Kurve des Sonnenlichtes + Himmelslicht (Lichtwirkung unter der Himmels-Hemisphäre) nach L. A. Jones (1927)

In der angewandten Photographie unter freiem Himmel wird die Beleuchtung durch das direkt einstrahlende Sonnenlicht und das zerstreute Himmelslicht der Hemisphäre bestimmt. Nach den Untersuchungen Loyd A. Jones (Phot. Ind. 1927, S. 1123) kann man annehmen, daß eine horizontale Ebene 80 % Sonnenlicht und 20 % Himmelslicht (z. B. bei der Photographie von Landschaften) erhält. — Unter dieser Voraussetzung kombinierte Jones die Verteilung

der Energie in den Sonnenstrahlen und dem zerstreuten Himmelslicht im Verhältnis von 80:20 und erhielt dann die in Abb. 117 dargestellte Kurve der relativen Energie, bezogen auf die Wellenlänge des Lichtes und auf eine horizontale Ebene. — Auf einer vertikalen Ebene, die dem Sonnenlicht ausgesetzt ist, beträgt der prozentuale Anteil des Himmelslichtes wahrscheinlich nur 10 %, doch rührt in den Schatten ein viel größerer Teil der Strahlung von dem Himmelslichte her, so daß es gerechtfertigt erscheint, das oben angeführte Verhältnis von 80:20 als durchschnittliche Zusammensetzung der natürlichen Beleuchtung anzunehmen, die bei der photographischen Aufnahme wirksam ist.

Die Energieverteilung in den verschiedenen Bezirken des Sonnenspektrums, wie sie in Abb. 116 und 117 angedeutet ist, bezieht sich auf völlig durchsichtige Luft, jedoch erleidet häufig die Luft durch Nebel, Wasserdampf oder Staub eine Trübung, die man durch den sogenannten Trübungs-Faktor ausdrückt.

Der „Trübungsfaktor“ hat für die Beurteilung der Sonnenstrahlung beim Durchgang durch die freie Atmosphäre eine große Bedeutung, denn er besagt, wieviel ideale (also wasserdampf- und staubfreie) Atmosphären von 760 mm Luftdruck die gleiche Extinktion der Sonnenstrahlen bewirken würde, wie die während der Beobachtung vorhandene trübe und feuchte Atmosphäre (F. Linke, „Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre“, Band X, Heft 2, 1922). Dieser Trübungsfaktor ist z. B. im Sommer im Hochgebirge 1,9 bis 2, in der Ebene (Potsdam) 2,7 (C. Dorno, „Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraigl“ (Oberengadin) 1927, S. 32) zur physikalischen Deutung der Durchlässigkeit der Atmosphäre für den gegebenen Ort und zwecks Vergleiches mit anderen Orten und für die Ableitung des „Trübungsfaktors“ nach Sonnenhöhe, und zwar getrennt für Vor- und Nachmittag zu messen (Dorno, „Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraigl“ (Oberengadin) 1297, S. 22).

Die ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlen pflegt man für physiologische Zwecke bei der Wellenlänge 320 bei der Intensitätsmessung der Sonnenstrahlung hervorzuheben.

Über die Physik der Sonnenstrahlung[1]) kommt (nach Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg) folgende Literatur in Betracht:

---

1) Über Sonnenstrahlung s. Berliner u. Scheel „Physikalisches Handwörterbuch“ 1924, S. 721.

Dorno mit K. W. Meissner u. W. Vahle, „Zur Technik der Sonnenstrahlungsmessungen".

Dorno, Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1919.

E. Pettit, Ultraviolet solar radiation and its variations. Public. Astr. Soc. of the Pacif. Bd. **38**, 1926, S. 21.

Ch. Fabry u. H. Buisson, Comparaison des raies du spectre de l'arc électrique et du soleil. Comptes rend., Bd. **148**, 1909. S. 688.

L. Goraczynski, On a simple method of recording the total and partial intensities of solar radiation. Journ. Opt. Soc., Bd. **9**, 1924, S. 455.

W. Brückmann, Pyrometrische Messungen der Himmelsstrahlung. Meteorol. Zeitschrift, Bd. **39**, 1922, S. 107.

Über die außerordentlich großen Schwankungen in der spektralen Zusammensetzung des Tageslichts unterrichten: z. B. die Messungen der Farbtemperatur des Himmels von J. G. Priest, Journ. Opt. Soc. Am. **7**, 1923, S. 1175.

C. Dorno (K. W. Meissner & W. Vahle) Meteorologische Zeitschrift, August 1924.

C. Dorno, „Schwankungen in den Werten der Solarkonstante", Meteorologische Zeitschrift, März 1926.

C. Dorno, „Parallelmessungen der photochemischen Ortshelligkeit zwischen dem nördlichen Polarkreis und südlichem Wendekreis", Meteorologische Zeitschrift, Oktober 1927.

C. Dorno, „Grundlage des Klimas von Muottas-Muraigl (Oberengadin)". Meteorologische Studie, Verlag Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges. Braunschweig 1927.

C. G. Abbot, „The distribution of Energie over the Sun's Disk"; Smithsonian miscellaneous Collections. Vol. 78. Nr. 5, 1926 (12. Okt.). City of Washington, Published by the Smithsonian Institution.

Die Photographie bei natürlichem Tageslicht ist die weitaus häufigste und es wäre zweckmäßig, darauf die Empfindlichkeit photographischer Platten zu beziehen. Die Zusammensetzung des Tageslichtes schwankt aber erheblich, je nachdem es direkt von der Sonne kommt, vom blauen Himmel reflektiert oder durch Wolken diffus gemacht wird.

Einigermaßen kommt der elektrische Flammenbogen mit Reinkohle oder das Magnesiumlicht dem weißen Tageslicht nahe.

Die Abweichungen dieser Lichtquellen vom Sonnenlicht können für praktische photographische Zwecke durch Korrektionsfaktoren korrigiert werden oder man versucht diese künstlichen Lichtquellen von bekannter, aber vom Tageslicht abweichender spektraler Zusammensetzung durch blaue Lichtfilter zu verbessern, so daß ihre zu große Rot-Strahlung gedämpft und die Gesamt-Strahlung die gewünschte Zusammensetzung gibt.

Da die meisten photographischen Aufnahmen, insbesondere Porträtaufnahmen, bei zerstreutem Tageslicht vorgenommen werden, sind die Lichtverhältnisse in diesem wohl von Interesse; als Standard zur Plattenprüfung ist jedoch das zerstreute Tages-

licht wenig geeignet, weil es zu sehr schwankt. — Das Sonnenlicht wird bekanntlich durch die Sonnenhöhe sowie durch die Bewölkung stark verändert. Das reine direkte Sonnenlicht wird auch bei klarem Himmel mit zunehmender Dicke der Luftschicht stärker im violetten Spektralbezirk absorbiert, demzufolge verschiebt sich dann die Spektralhelligkeit des zu uns kommenden Sonnenlichtes gegen Rot. — Weiße Wolken schwächen das Sonnenlicht ziemlich gleichmäßig. — Das in der Atmosphäre durch Dunst, feinste Staubpartikelchen zerstreute Sonnenlicht wird nach dem Rayleygh-schen Gesetz verändert, indem die Energie des so zerstreuten Sonnenlichts umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge ist, woraus sich eine Änderung der spektralen Zusammensetzung und ein Überwiegen der blauen Strahlen ergibt; hierauf ist die blaue Farbe des Himmels zurückzuführen. Graue Bewölkung schwächt nicht nur die Gesamthelligkeit enorm, sondern auch die relative photographische Wirksamkeit, was mit der Änderung der spektralen Zusammensetzung des trüben Tageslichtes zusammenhängt (s. S. 331).

Die Nuancen des Himmelslichtes können sich von Weiß zu Blau und zu Gelb verändern. Darnach ändert sich der relative Wert der Farbenempfindlichkeit einer photographischen Platte, aber auch der Wert des sogenannten Filterfaktors von Gelbscheiben, die man bei orthochromatischen Landschaftsaufnahmen vor das Objektiv schaltet. Bei bläulichem Himmelslicht sinkt z. B. der Faktor gegen gelbliches im Verhältnis von 2 : 1. — J. Rheden schätzt die Himmelsfarbe nach einer 10 teiligen Skala von tief Dunkelblau bis zum dunklen Grau eines regnerischen Tages und bezieht dies auf den Filterfaktor (Phot. Rundschau 1926, S. 490.)

IX. Konventionelles mittleres Mittags-Sonnenlicht = 5000° absolut als Normale für die Sensitometrie.

Am VI. Internationalen Kongreß für Photographie 1925 einigte man sich darüber, daß die photographische Normallichtquelle in idealer Form für den Bereich von der Wellenlänge 350—700 $\mu\mu$ der Strahlung eines schwarzen Körpers mit der Farbtemperatur von 5000° absolut identisch sein soll, was das Zugrundelegen des mittleren Mittagssonnenlichtes bedeutet. Als Einheit für die photographische Sensitometrie soll die davon abgeleitete visuelle Kerze sein. Bei der großen Empfindlichkeit der photographischen Platten soll man die Beleuchtungsstärke zwischen 1—10 Kerzen wählen.

Man bezeichnet diese Strahlung mit der Farbtemperatur von 5000° absol. als konventionelles mittleres Sonnenlicht oder Standard-Tageslicht. Am VII. Internationalen Kongreß für Photographie 1928 erfolgte die Angleichung an den Beschluß des V. Kongresses.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

X. Überführung des elektrischen Glühlichtes von der Farbtemperatur 2360° absol. in die Farbenverteilung des mittleren Mittags-Sonnenlichtes. — Filterung von Normallicht. —

Am VII. Internationalen Kongreß für Photographie in London im Juli 1928 empfahl die Optical Society of America, vertreten durch C. E. Mees (vom Eastman-Kodak Forschungsinstitut in Rochester), im Anschluß an den Pariser Kongreß 1925 als Einheit der photographischen Lichtstärke eine visuelle internationale Kerze von der spektralen Zusammensetzung mittleren Mittags-Sonnenlichtes in Washington entsprechend der Farbtemperatur von 5000° absol. zu wählen. Es ergaben sich Bedenken, Positiv-Kopiermaterial mit einer Lichtquelle von so hoher Farbtemperatur zu prüfen. (Andererseits besitzt die internationale Kerze zu geringe Lichtintensität. E.) Man einigte sich, folgende Vorschläge zu empfehlen:

„Der VII. Internationale Kongreß für Photographie 1928 empfiehlt, daß die photographische Lichteinheit für die Sensitometrie von Negativmaterialien definiert werden soll: als die Lichtstärke einer Lichtquelle von der visuellen Lichtsstärke einer internationalen Kerze, hervorgebracht durch einen grauen Körper von der Farbtemperatur 2360° absol. (geeichte Vakuum-Wolframfaden-Lampe oder Azetylenlicht) in Verbindung mit einem selektiv absorbierenden Kupfer-Kobalt-Lichtfilter (nach R. Davis und K. S. Gibson) von folgender Zusammensetzung[1]):

Das Filter besteht aus je einer Schicht von 1 cm Dicke von zwei Lösungen (Temp. 25° C) in einer Doppel-Kuvette (zweiteilige Wanne, s. Abb. 118), die aus drei 2,5 mm dicken Scheiben von dem widerstandsfähigen Borosilikatglas ($e_D = 1{,}51$), das gute Durchlässigkeit für Ultraviolett besitzt, zusammengesetzt ist[2]).

Lösung A.

Kupfersulfat	3·707	g
Mannit, $C_6H_8(OH)_6$	3·707	g
Pyridin (C_5H_5N)	30·0	ccm
Wasser (destilliert) auf	1000	ccm

1) R. Davis und K. S. Gibson (Journ. of the Optical Review of Americ. 1926. Bd. 13. Supplem. zu Nr. 4. Okt. 1926) schlugen zur Herstellung von künstlicher Sonnenlicht-Farbenverteilung für photometrische Zwecke kombinierte Kupfer- und Kobaltlösungen vor.

Die ausführliche Publikation von Davis und Gibson findet sich unter dem Titel „Artificial Sunlight for Photographic Sensitometry“ in den „Transactions of the Society of Motion Picture Engineers“, Bd. 12, Nr. 33, 1928, S. 225.

2) Die Verwendung von doppelten Wannen, deren eine eine angesäuerte wässerige Lösung von Kupfersulfat und Kobaltsulfat, und deren andere eine ammoniakalische Lösung von Kupfersulfat enthält, wird empfohlen.

Lösung B.

Kobaltammoniumsulfat [$CoSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$]	26·827	g
Kupfersulfat ($CuSO_4.5H_2O$)	27·180	g
Schwefelsäure (spez. Gew. 1·835)	10·0	ccm
Wasser (destilliert) auf.	1000	ccm

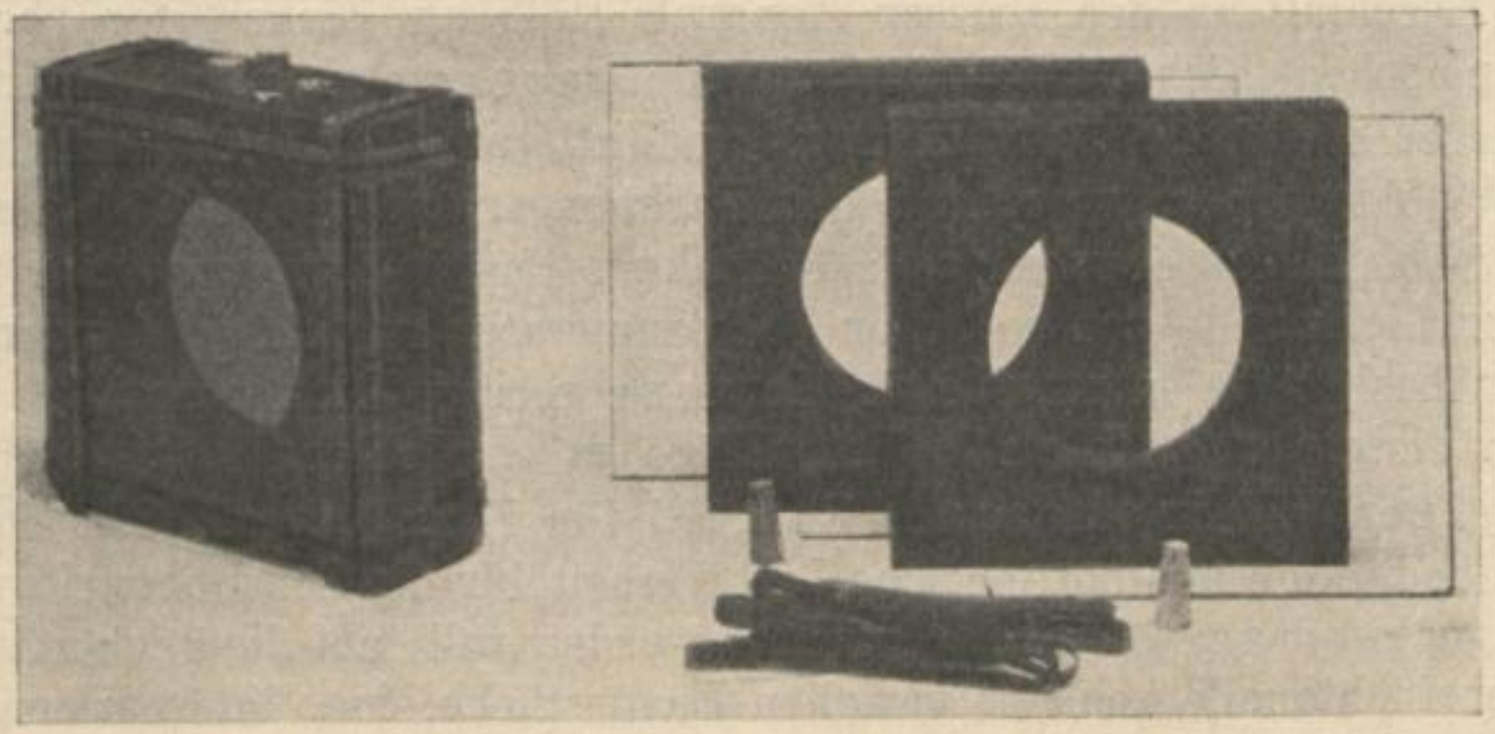


Abb. 118. Doppelwanne für das Davis-Gibsonsche Lichtfilter.

„Die oben angegebenen Vorschriften zur Herstellung der Kupfer- und Kobaltlösungen gelten für eine Wolfram-Vakuumlampe von der Farbtemperatur 2360° absol."

Eine analoge Anordnung einerseits mit einem Gemisch von Kupfer- und Kobaltsulfat und andererseits eine Lösung von Kupfersulfat in Pyridin, zu der Mannit als ein Präservativ zugesetzt wurde.

In einer Spektralzone von 350—720 $\mu\mu$ kann man durch Änderung der Komponenten das Licht von Azetylen sowie elektrisches Licht usw. in die Farbe von weißem Tageslicht verwandeln.

Dieses System der Verwendung getrennter Kupfer- und Kobaltlösungen als Korrektions-Lichtfilter für eine elektrische Metallfadenlampe von der Farbtemperatur 2360° absolut wurde über Vorschlag des amerikanischen Komitees am Internationalen photographischen Kongreß in London (1928) standardisiert, um eine tageslichtähnliche Normallichtquelle bei Verwendung der Normal-Metallfadenlampe oder von Azetylen mit Sicherheit im Laboratorium erzeugen zu können.

In der „Société Franç. de Photogr" in Paris (Oktober 1928) sprach E. Calzavara (im ablehnenden Sinne) von der Verwendung des Pyridins und des Mannits, weil angeblich diese Substanzen nicht in reinem Zustande erhältlich seien. Dieser Einwand ist jedoch nicht begründet, mit Rücksicht auf den Zweck, gut konstante Filterflüssigkeiten zu erhalten (wo die eventuelle Anwesenheit kleiner Unreinigkeiten die selektive Absorption nicht stört). Alle die in den Davis-Gibson'schen Filterflüssigkeiten enthaltenen Substanzen sind in genügender Reinheit zugänglich.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die hierzu nötigen Chemikalien sind mit befriedigender Reinheit zu erhalten. Wenn Schwierigkeiten in der Lieferung von reinem Kobaltammoniumsulfat eintreten sollten, so kann man die Komponenten sich leicht beschaffen und in äquivalenten Mengen mischen. Reinstes nickelfreies Kobaltsulfat erzeugt die Chemische Fabrik von Merck, ebenso reines Ammoniumsulfat. Vgl. hierüber: Eder, Lichtstandard für Sensitometrie und das Davis-Gibsonsche Lichtfilter mit Kupfer-Kobaltlösungen (Kinotechnik, 1929, S. 90). Daselbst sind die Bedenken betreffs der Möglichkeit der Beschaffung reiner Filtersubstanzen zerstreut.

Diese Kupferlösungen mit Pyridin entsprechen den Absorptionen der für solche Absorptionszwecke vielfach verwendeten ammoniakalischen Kupfersulfatlösungen, die aber die Gläser angreifen und weniger haltbar sind. Die erwähnten Kupfer- und Kobaltlösungen wurden auf Grund sorgfältiger spektrometrischer Absorptionsversuche von Raymond Davis und K. S. Gibson ausgearbeitet und mit Zustimmung des Bureau of Standards in Washington im Zusammenhange mit den Kongreßarbeiten in London zunächst für die Normallichtquelle mit 2360° absol. publiziert.

Das auf diese Weise nachgeahmte konventionelle mittlere Mittags-Sonnenlicht von der Farbtemperatur 5000° absol. gibt für die Spektralregion von 350 bis 700 oder 720 $\mu\mu$ befriedigende Resultate in der Sensitometrie, sowohl bei gewöhnlichen als orthochromatischen Platten.

Die Transmission dieses Lichtfilters ist nach den genauen Messungen von Davis und Gibson = 0,1352; dies ist der Faktor, mit dem die Kerzenstärke mit Kupfer-Kobalt-Lichtfilter multipliziert werden muß, um die wahre Kerzenstärke der Glühlampe samt ihrem Lichtfilter zu finden.

Das amerikanische Komitee[1]) schlug am VII. Kongreß in London folgende Entschließungen vor:

1. Die Einheit der photograph. Intensität wird definiert als eine visuelle Normalkerze des konventionellen mittleren Mittagssonnenlichtes.
2. Zur Bestimmung der Plattenempfindlichkeit soll die Helligkeit des auf die photographische Platte einfallenden Lichtes nicht weniger als eine Meterkerze sein.

---

1) Report of the Optical Soc. of America, Commission on Unit Photogr. Intensity. Das Komitee bestand aus E. C. Crittenden, Raymond Davis und K. S. Gibson vom Bureau of Standards in Washington, A. C. Hardy, Massachusets Institut of Technology, H. E. Ives vom Bell Telephon Laboratory, A. G. Worthing von der Universität in Pittsburg, C. E. Mees und Loyd A. Jones von der Eastman Kodak Co. als Vorsitzende.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

3. Es wird empfohlen, für die Belichtung eine nicht intermittierende Zeitskala zu verwenden, um den Zeitfaktor der Exposition zu variieren.

XI. Überführung des normalen Azetylenlichtes in die Energieverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes.

Die Farbtemperatur des normalen Azetylenlichtes (s. Seite 330) beträgt ebenso 2360° absol., wie das konventionelle Glühlampenlicht und deshalb sind dieselben Kupfer-Kobaltlösungen, die auf S. 339 für die normale Wolframfadenlampe angegeben wurden, auch für Azetylenlicht verwendbar.

Am Internationalen Photographischen Kongreß in Paris 1925 berichtete das amerikanische Komitee (Referat von Mees), daß man Azetylenlicht nicht nur mit Kupferlösungen, sondern auch mit gewissen Gelatinetrockenfiltern annähernd auf Sonnenlicht reduzieren könne, wie nachstehende Tabelle zeigt:

Lichtquelle	Lichtfilter	Relative Empfindlichkeit im Dreifarbenverfahren		
		Hinter Blau	Grün	Rot
Sonnenlicht	—	100	100	100
Azetylen	mit Wrattenfilter Nr. 79	100	90	107
Azetylen	mit Kupferlösungen . .	100	95	88

Die Lichtfilter genügen annähernd den Anforderungen der praktischen Sensitometrie, sind aber ungenau und derzeit außer Verwendung.

Das Lichtfilter mit Kupferlösungen wurde bald nachher von R. Davis und K. S. Gibson durch Kombination mit Kobaltlösungen verbessert (1928), worüber schon auf S. 339 berichtet wurde. E.

Die Total-Transmission des trockenen blauen Tageslicht-Filters von Wratten zur Umwandlung einer 1,25 W-Wolfram-Fadenlampe in weißes Tageslicht ist 18%; die Gelbfilter, die Tageslicht auf die Nuance des Wolframfaden-Lichtes reduzieren sollen, besitzen 60% Transmission (Mees, Abridg. Scient. Publ. Eastman Kodak 1913, S. 41).

XII. Lichtfilter zur Umwandlung von Lichtquellen mit der Farbtemperatur 2600 und 3000° absol. in die Energieverteilung des Sonnenlichtes.

Weitere Angaben machten Davis und Gibson betreffend die Überführung anderer Lichtquellen in die Energieverteilung von mittlerem Sonnenlicht (Farbtem. 5000° absol.).

Für den Fall, daß die Farbtemperatur der Lichtquelle eine höhere ist, so werden diese Filterlösungen in verminderter Konzentration verwendet. Raymond Davis und K. S. Gibson zeigen in den Kurven — Abb. 119 — die Ergebnisse ihrer sehr sorgfältigen Versuche für die Farbtemperaturen 2600 und 3000° absol. und geben die ent-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

sprechenden Flüssigkeiten an, die in der Doppelzelle weißes konventionelles Sonnenlicht entsprechend der Farbtemperatur von 5000° absol. liefern.

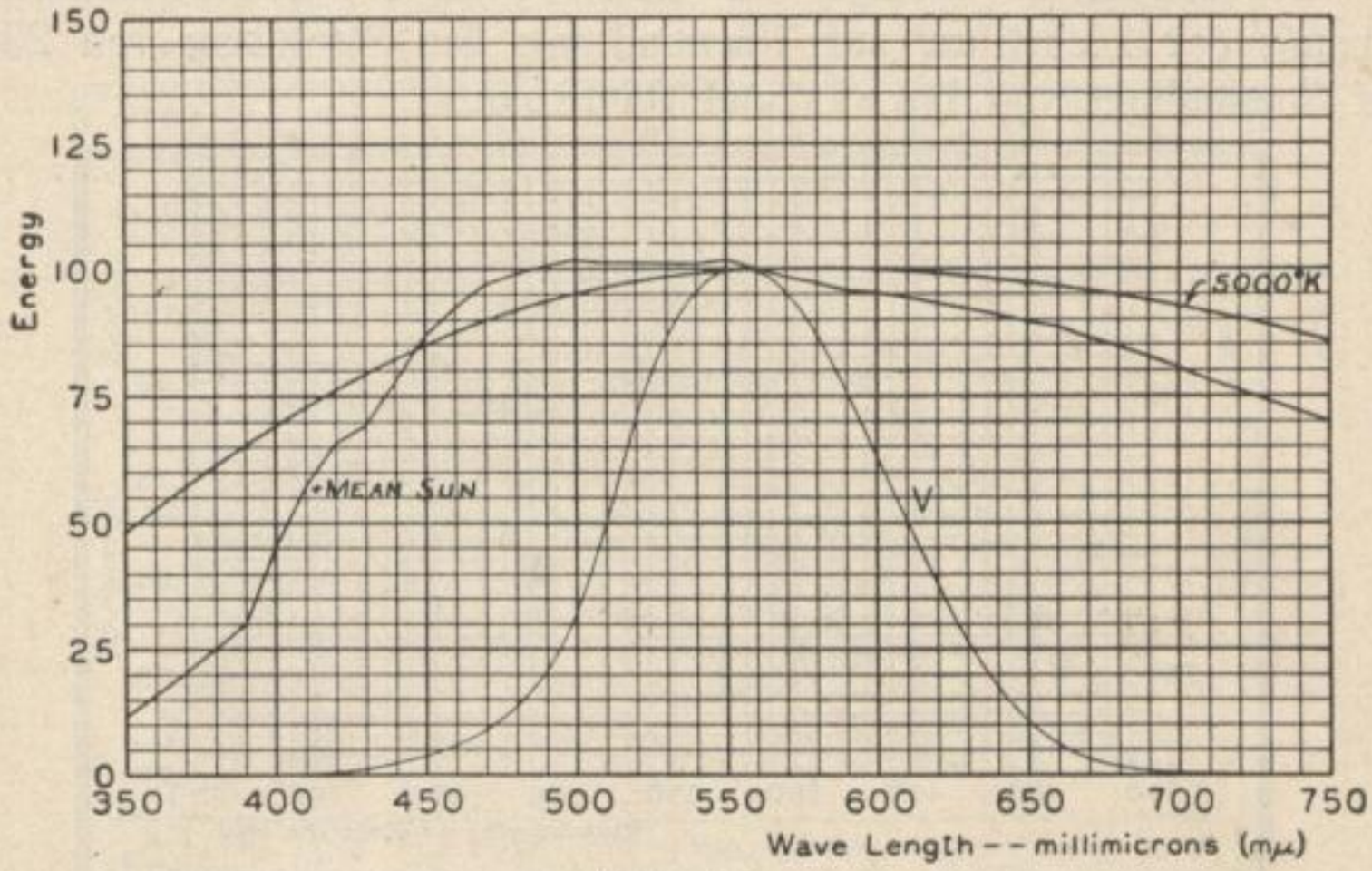


Abb. 119.

Relative Verteilung der Energie im Spektrum des Mittagssonnenlichtes, einer Lichtquelle von der Farbtemperatur 5000° abs. und der Kurve λ von der visuellen Helligkeitsempfindung (Davis und Gibson).

Die folgende Tabelle gibt die Konzentration (g pro Liter) der Kupfer-Kobaltsalze in den Lösungen A und B zur Umwandlung von Lichtquellen verschiedener Farbtemperatur in die Energieverteilung des Sonnenlichtes.

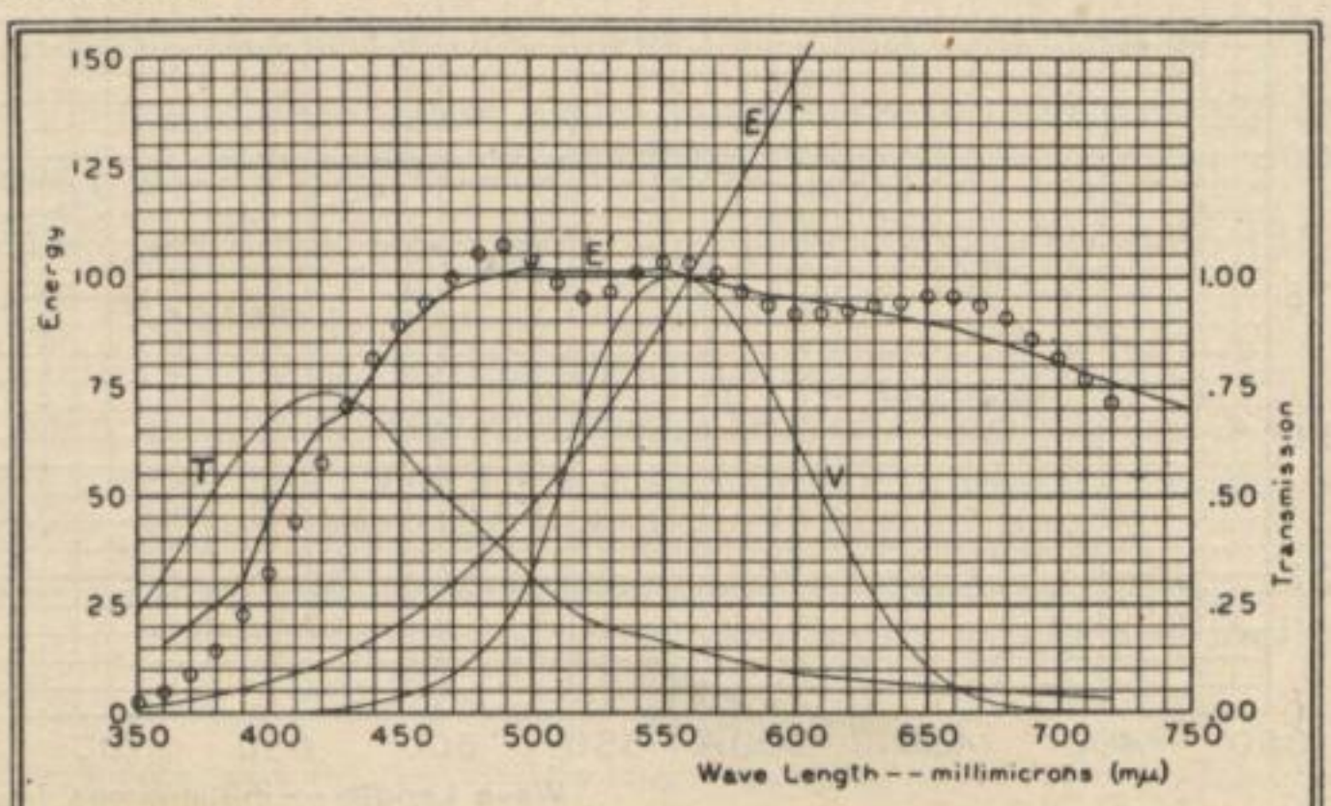
Farbtemperatur	Gramme der Kupfersulfat- und Mannitmenge in Lösung A	Gramme des Kobalt-ammoniumsulfats in Lösung B	Gramme des Kupfersulfats in Lösung B	Lichttransmission des Filters
2300° absol.	3,901	28,300	28,25	0,122
2360° ,,	3,707	26,827	27,18	0,135
2400° ,,	3,582	25,870	26,48	0,144
2500° ,,	3,292	23,590	24,73	0,168
2600° ,,	3,024	21,400	23,00	0,193
2700° ,,	2,777	19,325	21,30	0,220
2800° ,,	2,551	17,400	19,72	0,248
2900° ,,	2,337	15,580	18,30	0,277
3000° ,,	2,140	13,900	17,00	0,307

Die detaillierte Beschreibung dieser Kupfer-Kobalt-Filter für die Farbtemperaturen 2360 und 3000° absol. mit Bezug auf das mittlere Sonnenlicht in Washington und die relative visuelle Helligkeit

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

("relative visibility function"), die Rezeptur der Filterflüssigkeiten, der Transmissionskoeffizienten usw. finden sich in den beiden nachstehenden Tabellen von Davis und Gibson (Abb. 120 und 121).

Darstellung der Energie- und Absorptionskurven samt Zusammensetzung der Lichtfilter zur Umwandlung der Strahlung von 2360° auf Sonnenlicht von Davis und Gibson:



λ (mμ)	T	E''*	E''/E'
350	0.230	2.5	——
60	.321	4.9	.304
70	.420	8.7	.426
80	.518	14.5	.579
90	.608	22.5	.749
400	.671	32.2	.712
10	.714	44.0	.767
20	.737	57.4	.871
30	.725	70.3	1.016
40	.682	81.2	1.044
450	.612	88.6	1.021
60	.540	93.9	1.018
70	.483	99.9	1.031
80	.431	105.0	1.060
90	.376	107.1	1.065
500	.315	103.9	1.021
10	.259	98.3	.972
20	.219	95.0	.939
30	.197	96.8	.957
40	.182	100.6	.997
550	.167	103.2	1.014
60	.1495	103.1	1.031
70	.1316	100.4	1.021
80	.1151	96.9	.997
90	.1013	93.4	.977
600	.0907	91.3	.959
10	.0834	91.3	.968
20	.0778	92.3	.991
30	.0730	93.3	1.013
40	.0684	94.0	1.032
650	.0646	95.1	1.060
60	.0605	95.1	1.074
70	.0558	93.4	1.081
80	.0510	90.5	1.069
90	.0457	85.8	1.038
700	.0409	81.2	1.008
10	.0366	76.4	.979
20	.0326	71.6	.940

Bureau of Standards. Davis-Gibson Filters

T -- Spectral Transmission of Filter at 25°C
V -- Relative Visibility Function
E -- Relative Energy of 2360°K
E' -- Relative Energy of Mean Sunlight at Washington
E''(=T×E)* -- oooo -- Relative Energy of 2360°K and Filter Combination

Light Transmission of Filter for 2360°K = 0.1352 **

FILTER FORMULA

A

Copper Sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	3.707	grams
Mannite ($C_6H_8(OH)_6$)	3.707	grams
Pyridine (C_5H_5N)	30.0	cc
Water (distilled) to make	1000.	cc

B

Cobalt Ammonium Sulphate ($CoSO_4 \cdot (NH_4)_2 SO_4 \cdot 6H_2O$)	26.827	grams
Copper Sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	27.180	grams
Sulphuric Acid (sp. gr. 1.835)	10.0	cc
Water (distilled) to make	1000.	cc

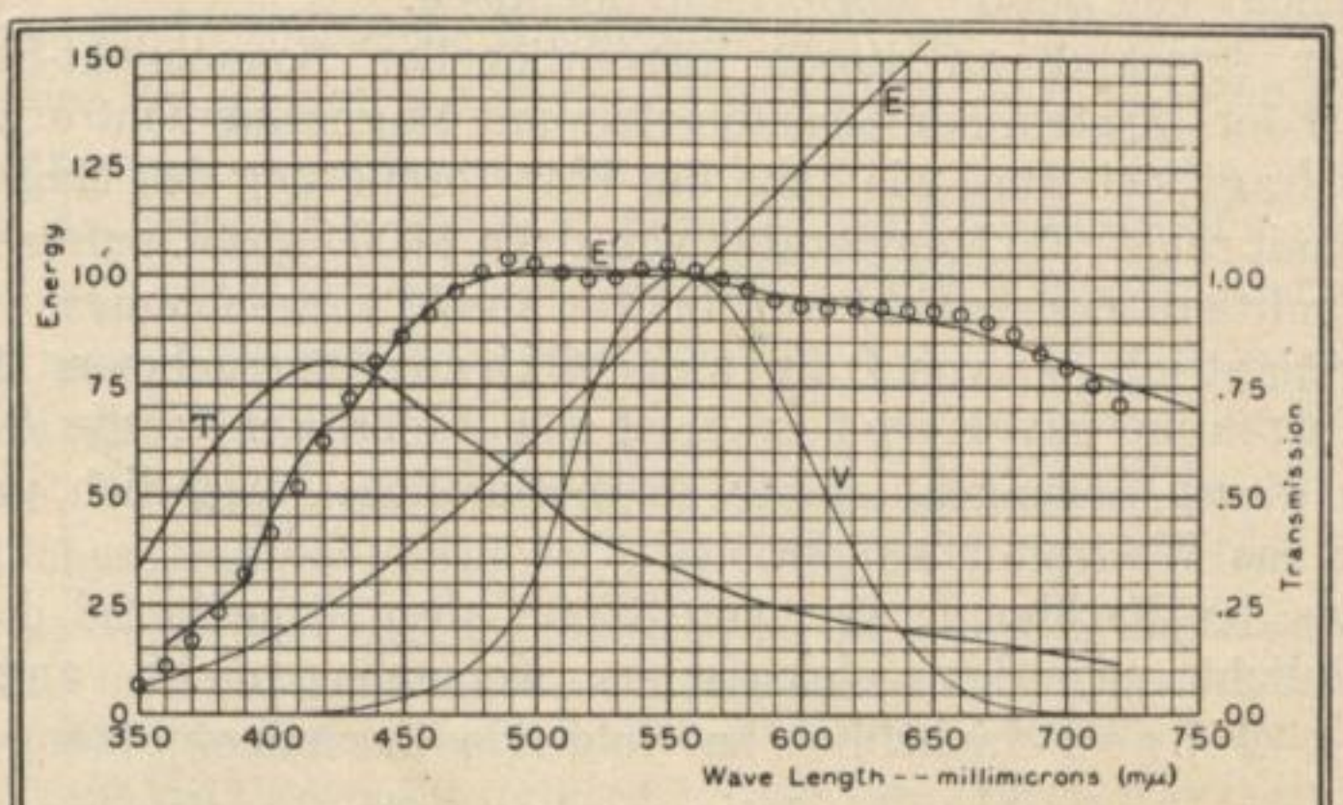
These data are for a one centimeter layer each of solutions A and B in a double cell with three plates of borosilicate crown glass (refractive index, D line, = 1.51), each 2.5 mm thick.

* Adjusted to make sum of E'' - E' from 400 to 720 mμ equal practically to zero

** Factor to be used to multiply the candle-power of the light source to obtain the candle-power of the source-and-filter combination

Abb. 120.

Darstellung der Energie und Absorptionskurven samt Zusammensetzung der Lichtfilter zur Umwandlung der Strahlung von 3000° auf Sonnenlicht von Davis und Gibson:



λ (mμ)	T	E"*	E"/E'
350	0.339	6.7	——
60	.434	11.0	.696
70	.540	17.0	.831
80	.615	23.8	.951
90	.691	32.5	1.079
400	.745	41.9	.928
10	.782	52.0	.908
20	.802	62.4	.948
30	.798	72.1	1.042
40	.774	80.3	1.032
450	.733	86.4	.995
60	.686	91.4	.991
70	.647	96.5	.995
80	.607	100.8	1.018
90	.563	103.3	1.027
500	.510	102.8	1.010
10	.456	100.5	.993
20	.414	99.0	.978
30	.386	99.8	.988
40	.364	101.5	1.006
550	.343	102.3	1.006
60	.318	101.5	1.015
70	.294	99.5	1.011
80	.270	97.1	.999
90	.250	94.8	.991
600	.233	93.2	.980
10	.222	92.9	.986
20	.212	93.0	.998
30	.203	93.0	1.009
40	.195	92.7	1.019
650	.188	92.6	1.033
60	.179	91.7	1.036
70	.170	89.8	1.039
80	.160	87.2	1.029
90	.1484	83.4	1.008
700	.1378	79.6	.989
10	.1279	75.7	.970
20	.1180	71.5	.940

Bureau of Standards. Davis-Gibson Filters

T -- Spectral Transmission of Filter at 25° C
V -- Relative Visibility Function
E -- Relative Energy of 3000°K
E' -- Relative Energy of Mean Sunlight at Washington
E" (=T×E)* ---- Relative Energy of 3000°K and Filter Combination

Light Transmission of Filter ** for 3000°K = 0.3073

FILTER FORMULA

A

Copper Sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	2.140	grams
Mannite ($C_6H_8(OH)_6$)	2.140	grams
Pyridine (C_5H_5N)	30.0	cc
Water (distilled) to make	1000.	cc

B

Cobalt Ammonium Sulphate ($CoSO_4 \cdot (NH_4)_2 SO_4 \cdot 6H_2O$)	13.900	grams
Copper Sulphate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	17.000	grams
Sulphuric Acid (sp. gr. 1.835)	10.0	cc
Water (distilled) to make	1000.	cc

These data are for a one centimeter layer each of solutions A and B in a double cell with three plates of borosilicate crown glass (refractive index, D line, = 1.51), each 2.5 mm thick.

* Adjusted to make sum of E" - E' from 400 to 720 mμ equal practically to zero

** Factor to be used to multiply the candle-power of the light source to obtain the candle-power of the source-and-filter combination

Abb. 121.

XIII. Überführung des Normal-Magnesiumlichtes in die Farbenverteilung des Standard-Sonnenlichtes nach Eder.[1])

Das Magnesiumlicht ist dem weißen Tageslicht sehr ähnlich, aber in der spektralen Energieverteilunng mit dem konventionellen Sonnenlicht von 5000° absol. nicht identisch.

Der Anschluß an diesen konventionellen Sonnenlicht-Standard ist für Eders System der Sensitometrie mit Magnesiumlicht erwünscht und es fragt sich nun, wie kann die Transformierung des Magnesiumlichtes mit seiner Farbtemperatur von zirka 3700° absol. auf das weiße ideale mittlere Sonnenlicht von 5000° absol. vorgenommen werden? Dies gelingt mit der von Davis und Gibson angegebenen Methode der Korrektur mit Kupfer-Kobalt-Lichtfilter[2]); die Konzentration dieser Lösungen ist für Magnesiumlicht wesentlich geringer als für das Wolframfadenlicht.

Das der Farbtemperatur von 3700° absol. (annähernd dem Magnesiumlicht und dem elektrischen Kohlenbogenlicht) angepaßte Davis-Gibson-Lichtfilter hat folgende Zusammensetzung:

Lösung A:

kristallisiertes Kupfersulfat, $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$	1,074 g
Mannit, $C_6H_8\,(OH)_6$	3,707 g
Pyridin (C_5H_5N)	30,0 ccm
Wasser destilliert, auffüllen auf	1000 ccm

Lösung B:

Kobaltammoniumsulfat[3]) $\cdot CoSO_4\,(NH_4)_2\,SO_4 \cdot 6\,H_2O$)	4,38 g
kristallisiertes Kupfersulfat	9,21 g
Schwefelsäure (spez. Gew. 1,835)	10,0 ccm
Wasser destilliert, auffüllen auf	1000 ccm

Diese Filterflüssigkeiten werden getrennt in eine Doppelwanne gefüllt, welche eine Glasplatte als gemeinsame mittlere Scheidewand und außen je eine äußere Deckplatte aus Spiegelglas besitzt. — Für die Zwecke der photographischen Sensitometrie genügen Spiegel-

1) Nach einer Abhandlung von J. M. Eder in der „Zeitschrift für physikalische Chemie". Abt. A. Bd. 141, Heft 5—6, 1929; ferner „Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie" 1929, Bd. 26, S. 353 u. 373.

2) Es wurden wohl schon früher zu demselben Zweck andere Lichtfilter für Magnesiumlicht veröffentlicht, wie z. B. die von Erich Lehmann (Vogels Handbuch der Photographie I, 2, 1928, S. 130) erwähnte wässerige Lösung von Methylviolett und Aeskulin, die aber theoretisch und praktisch unrichtig ist, weil sie viel zu viel rotes Licht durchläßt.

3) Anstatt des Doppelsalzes Kobalt-Ammonium-Sulfat können seine Komponenten verwendet werden, u. zw. an Stelle von 4,38 g $CoSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6\,H_2O$ kommen 3,11 g $CoSO_4 \cdot 7\,H_2O$ (von Merck „purissimum; Nickelfrei") und 1,46 g $(NH_4)_2SO_4$ (von Merck, „purissimum").

glasplatten von gewöhnlichem weißen Glas. — Die Lichttransmission für die mit den Flüssigkeiten A und B (1 cm Dicke) gefüllten Doppelwanne beträgt 0,5, d. h. das Licht wird auf die Hälfte geschwächt.

Solche Doppelwannen mit gemeinsamer Glasscheidewand stellt die Firma W. I. Rohrbecks Nachfolger in Wien V., Wehrgasse 18 für Zwecke der Sensitometrie her und lieferte auch die erwähnten Flüssigkeitsfilter.

Die Anwendung in der photographischen Plattenprüfung gestaltet sich dadurch besonders einfach, weil die Lichttransmission der Filters 0,5 ist, man also vor dem Sensitometer nur die doppelte normale Menge Magnesium abzubrennen hat, und somit im Sinne der Standardisierung für das Magnesium-Normallicht, zweimal je ein Blättchen dünnes Magnesiumbad im Gewichte von 2 mg erforderlich ist.

An der Grenze des Violett und zu Beginn des Ultraviolett ist die Transmission in diesem Filter für Magnesiumlicht etwas unterkompensiert [1]) und erreicht den Wert 0,6. Falls gewöhnliche Bromsilbergelatineplatten mit einer dominierenden Empfindlichkeit im Blau-Violett und Ultraviolett vorliegen, so ergibt ihre Prüfung hinter dem erwähnten Kupfer-Kobalt-Lichtfilter und mit Benutzung des Transmissionsfaktors 0,5 eine etwas größere Empfindlichkeitszahl im Vergleich mit dem nicht gefiltertem Magnesiumlicht. Bei panchromatischen und orthochromatischen Platten, bei denen das sichtbare Spektrum eine dominierende Wirkung ausübt, macht sich ein Fehler in der sensitometrischen Prüfung praktisch nicht bemerkbar.

Er kann durch Verwendung von etwas grünstichigen Glasscheiben in den Filterwannen behoben werden, wie sie auch in den von Rohrbecks Nachfolger in Wien, VI. Wehrgasse, 18. speziell für sensitometrische Zwecke erzeugten und in den im Handel gebrachten Doppel-Filterwannen angebracht sind.

Übrigens ist das gefilterte Magnesium zunächst zur Untersuchung farbempfindlicher Platten bestimmt, während man gewöhnliche „blauempfindliche“ Bromsilbergelatineplatten am besten — wie bisher — mit nicht gefiltertem standardisierten Magnesiumlicht auf ihre Empfindlichkeit prüft, wobei die so gefundenen Empfindlichkeitswerte gut mit der Tageslicht-Empfindlichkeit übereinstimmen.

Dem Übergang vom Magnesiumlicht zum konventionellen Sonnenlicht von 5000° absol. bei Sensitometerproben mit Intensitätsskalen steht somit nichts im Wege.

XIV. Filterung des elektrischen Bogenlichtes mit Reinkohle.

Zur Charakteristik von Auskopierpapieren kann man sich des offenen elektrischen Bogenlichtes mit Reinkohle bedienen, weil es mit seiner Farbtemperatur annähernd dem Magnesium-

1) Durch Zusatz einer entsprechenden Menge von Chininbisulfat zur sauren Kobalt-Kupferlösung läßt sich volle Kompensation erreichen; ebenso durch Verwendung schwach grünstichiger Spiegelgläser in den Absorptionswannen.

licht sich anpaßt und somit in das System sich gut einfügt[1]). Für das Magnesiumlicht (frei an der Luft brennend) gilt die Farbtemperatur 2700° mit der Fehlergrenze ± 75° (Dziobek, Zeitschr. f. wissensch. Phot., Bd. 25. 1928. S. 287), für das Kohlenbogenlicht die Farbtemperatur von 3680 bis 3720° absol. nach Waldener und Burgess (Bureau of Standards) oder 3780° nach Irwin G. Priest. Nach der Berechnung der Mittelwerte kommt man zu einer annähernd gleichen Farbtemperatur für Magnesium- und Bogenlicht. In der Tat zeigten Eders sensitometrische Versuche, daß man mit hinlänglicher Genauigkeit beide Lichtquellen auf konventionelles Sonnenlicht reduzieren kann, wenn man ein und dasselbe Kupfer-Kobalt-Flüssigkeitsfilter für beide Lichtquellen verwendet. Bei genaueren Proben fand er allerdings die Farbtemperatur des elektrischen Bogenlichtes etwas höher, so daß er die Werte 3720° für Kohlenbogen gegen 3680° Magnesiumlicht für wahrscheinlich hält. — Bei phototechnischen Sensitometerproben kommt dies wenig zur Geltung.

Die Bestimmung der relativen Farbenempfindlichkeit von Photomaterial mit dem Graukeil erfolgt durch Einschalten von farbigen Gelatinefiltern mit bekannter selektiver spektraler Transmissionszone und unter Berücksichtigung der gesamten Lichttransmission, die beim Eder-Hecht-Sensitometer für Blaufilter 3,03 für Grünfilter 6,35 und für Rotfilter bei Verwendung panchromatischer Platten 1,45 ist. Wenn man die relative Farbenempfindlichkeit mit solchen Instrumenten auf die ideale 100prozentige Transmission der Farbenfilter bei Verwendung des gefilterten Magnesiumlichtes umrechnet, so kommt man zur Angabe der relativen Farbenempfindlichkeit für konventionelles Sonnenlicht. Reduziert man alle diese Angaben auf die Empfindlichkeit für Blau gleich 1, so kann man bei der Empfindlichkeitsbestimmung bequem von einer Lichtart auf die andere übergehen (Eder[2]).

XV. Kerzenlicht als Einheitslichtquelle. — Hefner-Kerze, Azetylen.

Das Kerzenlicht, Walratkerze, Paraffinkerze (einschließlich der Hefnerkerze), mit seiner gelblichen Farbe sendet (entsprechend

1) Das elektrische Bogenlicht des Kohlenkraters zwischen Reinkohlen verhält sich wie ein reiner Graustrahler, der dem Planckschen Strahlungsgesetz gehorcht. Man beachte, daß der eventuell bei zu weit gestellten Elektroden auftretende violette Flammenbogen (450—460), das bekannte intensive Spektrum der Kohlenbanden zu Beginn des Ultraviolett von 388 und 359 und durch die schwächere blaue Bande bei 421 diskontinuierlich wird (Vgl. Eder und Valenta, Atlas typischer Spektren. 3. Aufl. 1928).

2) Eder, Zeitschr. f. physikal. Chemie 1929, Bd. 141, Heft 5—6; Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1929. Bd. 26. S. 353 u. 373.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

seiner sehr niedrigen Farbtemperatur) sehr viel weniger Blau und Violett aus als Azetylenlicht und noch weniger als Tages- und Magnesiumlicht, ist dagegen übermäßig reich an Strahlen vom roten Ende des Spektrums. Dies ist eine schon im vorigen Jahrhundert allgemein bekannte Tatsache. Andererseits ist aber für die Wirkung auf die gewöhnliche Bromsilber-Gelatine-Platte (Maximal-Empfindlichkeit bei zirka 450 $\mu\mu$) das blaue Licht maßgebend. — Für ein und dieselbe Einheitsmenge von strahlender Energie sendet die Hefnerkerze (1830° Farbtemperatur) eine dreimal größere Energiemenge von roten Strahlen (Wellenlänge 650 $\mu\mu$) aus als das Azetylenlicht (2360° Farbtemperatur) und 36mal mehr als mittleres Tageslicht von 5000° Farbtemperatur. Die relative Farbempfindlichkeit $\frac{\text{blau}}{\text{rot}}$ mit einer panchromatischen Platte wird demzufolge mit einer Hefnerkerze ungefähr 3mal größer gefunden werden als mit Azetylenlicht und 36mal größer als bei Sonnenlicht (J. Baillaud). Wenn man aber vor das Azetylenlicht oder ähnliche Lichtquellen blaue Lichtfilter vorschaltet (Kupferlösungen, blaue Gläser) und dadurch die Farbe des Tageslichtes tunlichst nachahmt, so erhält man Zahlen der relativen Farbenempfindlichkeit, welche den Ansprüchen der Praxis genügen.

Dies muß man bei Verwendung der Normalkerze als visueller Standard berücksichtigen und bei der Anwendung in der photographischen Sensitometrie in Rechnung setzen.

XVI. Die Pentanlampe verglichen mit Azetylenlicht.

Bei der Reduktion einer Lichtquelle von niedriger Farbtemperatur auf eine solche von höherer Temperatur laufen die Verhältniszahlen der relativen Empfindlichkeit nicht bei allen Plattenfabrikaten parallel.

E. Huse und L. A. Jones verglichen die Empfindlichkeitsanzeigen verschiedener Kodak-Plattensorten bei der Pentanlampe und bei Azetylenlicht und fanden verschiedene Relationen, z. B. bei Prozeß-Platten bei Pentanlicht zu Azetylenlicht wie 1 : 0,9, bei Kommerzialfilm wie 1 : 1,5, bei Speed Porträtfilm wie 1,9 bis 2; wozu zu bemerken ist, daß man die Zusammensetzung und spektralen Eigenschaften hierbei nicht näher kennt. (Kodak Abridg. scientif. Publ. Bullet. Dez. 1924, Bd. 11, S. 768; Science et Indust. Phot. 1926, S. 61.)

XVII. Übergang von einer Lichtquelle zu einer anderen.

Der Übergang von einer Lichtquelle zu einer anderen von anderer Farbtemperatur kann bei Verwendung von genau bekannten blauen, grünen und roten Farbfiltern geschehen, wenn man die Verhältnis-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

zahlen der Expositionszeiten (die zur Erzielung derselben Schwärzung notwendig sind) mit dem entsprechenden konstanten Faktor multipliziert. Wir folgen im Nachstehenden den Ausführungen J. M. Eders in der „Zeitschr. f. physikal. Chemie“ 1929. Bd. 141, Heft 5—6 und der „Zeitschr. f. wissenschaftl. Photogr.“ 1929.

Der Übergang von einer Lichtquelle zu einer anderen von anderer Farbentemperatur kann mit nachfolgender, aus einer größeren Versuchsreihe von Eder abgeleiteten Tabelle, bei deren Durchführung Herr Prof. Otto Krumpel mitwirkte, erfolgen.

In dieser Tabelle sind die photographischen Lichtwirkungen hinter den blauen, grünen und roten Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers als Einheit gesetzt und die unter gleichen Belichtungsverhältnissen sich ergebenden Photometeranzeigen sämtlicher

Tabelle.

Reduktionstabelle zur Umrechnung der Intensitäten der Farbenbezirke verschiedener Lichtquellen auf Magnesium als Standard, Bezirke der Grundfarben hinter blauen, grünen und roten Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers bezogen auf ideal transparente Lichtfilter von 100% Transmission von J. M. Eder.

Lichtquelle	Farbtemperatur	Blau (Durchlässig von 330 bis 485 $\mu\mu$)	Grün (Durchlässig von 485 bis 570 $\mu\mu$)	Rot (von 570 $\mu\mu$ das ganze Rot)
Konventionelles Sonnenlicht	5000° absol.	1	0,8	0,56
Kohlen-Bogenlicht 10 Amp.	3720° absol.	1	0,9	0,88
Magnesiumlicht[1])	3680° absol.	1	1	1
Trübes Tageslicht bei Bewölkung		1	1,15	1,3
Nitra Osramlampe . . . Halbwattlicht	2700 bis 2800° absol.	1	1,5—2	3—4
Vakuum-Wolfram-Fadenlampe 60 Watt	2500° absol.	1	3	8—10
Hefnerkerze	1830° absol.	1	10	30—60

1) Die Farbtemperatur des Magnesiumlichtes wird von Erich Lehmann (Handbuch der Photographie I. 2, 1928 S. 129) irrtümlich annähernd gleich einer gasgefüllten Wolframlampe (Farbtemperatur 2600—2900° abs.) angegeben, während sie in Wirklichkeit fast um 1000° absolut höher ist (siehe Eder, Zeitschrift f. wissenschaftliche Photographie XXX. Bd. 25, 1928, S. 402).

Lichtquellen auf die Blauempfindlichkeit gleich 1 berechnet. Die daraus sich ergebende Charakteristik der Lichtquellen liefert wertvolle Behelfe für die praktische Sensitometrie.

Als Beispiel sei das Untersuchungsergebnis einer panchromatischen Platte angeführt, welche einerseits mit Magnesiumlicht und andererseits mit gefiltertem Magnesiumlicht („Sonnenlicht") gewonnen wurde; daneben sind die nach der obigen Tabelle berechneten Werte angeführt.

Farbenempfindlichkeit einer panchromatischen Platte hinter den Farbfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers, reduziert auf ihre ideale Transparenz nach J. M. Eder.

	Blau	Grün	Rot	
„Magnesiumlicht" . . .	1	0,30	0,75	gefunden.
„Sonnenlicht"	1	0,26	0,39	
„Sonnenlicht"	1	0,24	0,42	berechnet.

Wie man sieht stimmen die Resultate in einer für die Bestimmung der Expositionszeit zureichenden Weise überein. Ferner zeigt die Tabelle, daß die Werte für die „Grünempfindlichkeit" bei Magnesiumlicht und „Sonnenlicht" nicht beträchtlich von einander abweichen, somit in diesem Bezirke, ebenso wie im blauen, die Sensitometrie bei Magnesiumlicht auch für Tages- und Sonnenlicht praktisch hinreichend genaue Expositionszeiten angibt; dagegen liefert das Magnesiumlicht im Rot doppelt so hohe relative Empfindlichkeitszahlen als das „Sonnenlicht", aber diese Werte schwanken in gewissen Grenzen mit der Wellenlänge des Schwerpunktes der „Rotsensibilisierung".

Magnesiumblitzlicht (Zündsatz mit Magnesium und Thoriumnitrat) kommt dem Halbwattlicht der Nitraphotlampe (2700 bis 2800° absol.) ziemlich nahe, so daß sein Effekt bei photographischen Negativaufnahmen mit farbenempfindlichen Platten ähnlich ist.

Die Farbenempfindlichkeit von verschiedenartigen panchromatischen Platten hinter dem Rotfilter schwankt je nach der roten Sensibilisierungszone sehr auffällig. Geringer sind die Schwankungen unter dem Grünfilter bei verschiedenen Grün-Sensibilisatoren, wie Erythrosin und Pinaflavol.

Magnesiumlicht kann auch für Auskopierpapiere als Normallicht verwendet werden, wenn man genügende Mengen in geringem Abstande von einem Graukeil-Sensitometer abbrennt.

Für die Praxis empfehlen sich besser relative Proben mit Reinkohlen-Bogenlicht, das dem Magnesiumlicht sehr ähnlich ist.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Auch die Proben mit diffusem Himmelslicht im Sommer sind damit gut vergleichbar.

Als Standard kann bei relativen Proben das Bunsensche Chlorsilber-Normalpapier oder das ihm gleichkommende, aber haltbarere von Eder angegebene Chlorsilber-Gelatinepapier mit Zusatz von Natriumnitrit und Glyzerin (hergestellt von der Trockenplattenfabrik Lainer-Hrdliczka in Wien) dienen. Es ist hauptsächlich nur für Ultraviolett und Blau empfindlich. Die im VII. Kapitel Seite 128 angegebene Tabelle Eders macht die Prüfungsergebnisse der relativen Farbenempfindlichkeit bei Tageslicht ersichtlich.

SIEBZEHNTES KAPITEL.

DIE RELATIVE AKTINITÄT DER LICHTQUELLEN.

I. Allgemeines über die relative Aktinität der Lichtquellen.

Die Farbenempfindlichkeit des menschlichen Auges wird durch eine Kurve ausgedrückt, deren Maximum in Gelbgrün bei ungefähr 550 bis 575 $\mu\mu$ liegt, gegen Blau und Violett stark sinkt und zu Ende des Violett = 0 wird; aber gerade in diesen letztgenannten Spektralzonen (Violett und Ultraviolett) besitzen Brom-, Jod- und Chlorsilber eine große Lichtempfindlichkeit.

Es hängt also die photographische Wirkung einer visuell gemessenen Meterkerze in hohem Grade von der spektralen Verteilung der Farbenhelligkeit der Lichtquelle ab.

Demzufolge kann die visuelle Helligkeitsempfindung des menschlichen Auges für eine Lichtquelle sehr stark von ihrer photographischen Wirkung abweichen. Dies gilt nicht nur für blauempfindliche Platten, sondern auch für panchromatische.

Man muß also grundsätzlich zwischen optischer (visueller) und photographischer Helligkeit (oder „chemischer Helligkeit") unterscheiden.

Bringt man die visuelle Helligkeit eines elektrischen Bogenlichtes oder des Sonnenlichtes auf jene einer Kerze und prüft damit die Empfindlichkeit von photographischen Platten, so ergeben diese visuell gleich hell erscheinenden Lichtquellen auf photographischen Platten nicht den gleichen photographischen Effekt.

II. Die relative Aktinität verschiedener Lichtquellen und ihre praktische Bedeutung[1]).

Unter „Aktinität" einer Lichtquelle versteht man ihre chemische (photographische) Wirksamkeit im allgemeinen. Als „relative Aktinität" bezeichnet man das Verhältnis der aktinischen

1) Nach einer Abhandlung von J. M. Eder, Zeitschr. f. wissensch. Phot., Bd. 24, 1927, S. 423.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Intensität zur visuellen Helligkeit. Diesen Begriff und diese Bezeichnung hat der Astronom K. Schwarzschild im Jahre 1900 geschaffen[1]) und zu astrophotometrischen Zwecken verwendet. Er sagt ganz klar: „Die relative Aktinität zweier Lichtquellen ist das Verhältnis ihrer photographischen (chemischen) Helligkeit, wenn sie auf gleiche optische (visuelle) Helligkeit gebracht werden", was er weiter ausführte.

Dieser Begriff der relativen Aktinität hat sich in der photochemischen und astronomischen Literatur eingebürgert, und es liegt nicht der geringste Grund vor, davon abzugehen.

Von diesem Gesichtspunkte aus untersuchte Eder die relative Aktinität verschiedener Lichtquellen[2]), die für photographische und sensitometrische Zwecke in Betracht kommen, und ging hierbei von der Hefner-Kerze aus, die er als Hefner-Kerzen-Sekunden in Rechnung setzte. Dabei untersuchte er das frei einstrahlende Licht mittels eines Scheiner-Sensitometers, dem sich später Versuche mit dem Eder-Hecht-Sensitometer anschlossen. In der Folge beschäftigten sich noch andere Experimentatoren mit diesem Gegenstande, deren wichtigsten Befunde neben Eders Messungen in der nachfolgenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt sind.

Hierzu ist zu bemerken, daß die Größe der relativen Aktinität von der Kurve ihrer spektralen Energie und von der Spektralkurve der Plattenempfindlichkeit abhängt (weshalb die Stromstärke bei elektrischem Licht eine große Rolle spielt), sowie von der Farbenempfindung des menschlichen Auges.

Man beachte, daß die spektrale Farbenverteilung von der sog. Farbtemperatur der Lichtstrahler abhängt und sich das Photomaterial sehr verschieden verhält; so ist die relative Aktinität für Licht mit großer Violett- und Ultraviolett-Emission (Magnesiumlicht usw.) für

---

1) K. Schwarzschild, Über die photographische Vergleichung der Helligkeit verschiedener Sterne. (Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. 1900. Mathem.-naturw. Klasse Abt. IIa, Bd. 119; ist auch in die photographische Fachliteratur übergegangen, z. B. Eders Ausf. Handb. d. Phot., Jahrbuch usw.

2) J. M. Eder, System der Sensitometrie photographischer Platten (Sitzungsberichte der kais. Akademie d. Wissensch. in Wien. 2. Abhandlung vom 3. Dezember 1900; 3. Abhandlung vom 11. Juli 1922). — Überdies ist diese Abhandlung vielfach in die Fachliteratur übergegangen, wie in die Photogr. Korrespondenz, Jahrbuch f. Phot. — In extenso in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie u. Spektralanalyse. 1904. — Eder. Zeitschr. f. wissenschaftliche Photographie, 1927, 24. Band, S. 432.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Chlorsilber größer als für reine Bromsilbergelatine, für orthochromatische und panchromatische Platten kleiner.

Relative Aktinität verschiedener Lichtquellen für Bromsilbergelatine.

Lichtquelle	Relative Aktinität	Beobachter
Hefner-Kerzé, frei einstrahlend	1	Eder
Englische Walratkerze, frei einstrahlend	0,83	„
Scheiners Benzinkerze „ „	0,85	„
Gaslicht, Argandbrenner mit Glaszylinder	1,7	„
Auers Gasglühlicht „ „	2,6	„
Azetylenlicht	2,3	Fabry
Metallfadenlampe „Monowatt“	2,6	„
„ „Halbwatt“	3,3	„
Magnesiumband, frei einstrahlend[1])	15	Eder
„ durch Glas	9—10	„
Nitra-Lampe[2]) von 1000 Watt	(7)	L. Bloch
Elektrisches Bogenlicht, offen brennend[3])	10—12	Eder
Tageslicht, bewölkt	7—8	„
„ mittleres[4])	11	Fabry
„ blauer Himmel	15—18	Eder
Sonnenlicht[5])	12—25	L. Bloch

In der photographischen Praxis, insbesondere für Zwecke der Kinematographie bei verschiedenen Arten von künstlichem Lichte, begnügt man sich mit der summarischen Bestimmung der Empfindlichkeitsverhältnisse, ohne Rücksicht auf Unterteilung des Spek-

1) Bei einer älteren Versuchsreihe hatte Eder für an der Luft brennendes, frei einstrahlendes Magnesiumband unter Verwendung des Scheiner-Sensitometers die relative Aktinität etwas höher gefunden (etwa 20), was in der Unsicherheit der Bestimmung der visuellen Helligkeit begründet ist, während die photographische Wirksamkeit sicherer zu ermitteln ist. Seine später (1922) angestellten Versuche ergaben einen Wert der relativen Aktinität = 15. Beck und Eggert gaben für Magnesiumblitzpulver (Agfa) den Wert 10 an. (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1927, Bd. 24, S. 377).

2) Nach L. Bloch, Lichttechnik. 1921, S. 579. — Beck und Eggert fanden für eine gasgefüllte Metallfadenlampe kurz („Nitralampe“) bei 100 Watt die relative Aktinität = 5, bei 1000 Watt aber = 10 (a. a. O.).

3) Nach Eders Messungen 1903 zeigt der elektrische Kohlenbogen die relative Aktinität 10. Eder, Handbuch d. Phot. I. Bd., 3. Teil, S. 618, 3. Auflage.

4) Nach Michalke hat gedämpftes Tageslicht die rel. Aktinität 10 für Bromsilber (Phot. Mitt. 1890, Bd. 24, S. 195). — Fabry setzt sie = 11. (Internat. Kongreß f. Phot. April 1925. Rapport 1926, S. 82).

5) Nach L. Bloch, Lichttechnik. 1921, S. 579.

trums, in enger begrenzte Farbenzonen (Rot, Grün, Blau usw.). Die exakte Sensitometrie lehrt aber, daß einige Spektralbezirke stark sensibilisiert werden können, andere aber gar nicht; überwiegt Empfindlichkeitssteigerung durch die ersteren, so bemerkt man eine beträchtliche Abkürzung der Belichtungszeit im (unzerlegten) Lichte der Lichtquelle; aber nicht nur für die Theorie, sondern auch für die Praxis ist die Frage von Wichtigkeit, welche Spektralzone für diese Empfindlichkeitssteigerung verantwortlich zu machen ist.

(Näheres s. Kap. XIII und XVI.)

Dieser Begriff der „relativen Aktinität" hat sich im Laufe der Jahrzehnte in der astronomischen, physikalischen und photographischen Fachliteratur eingebürgert und auch Ch. Fabry kam in seinem bedeutenden „Rapport sur l'étalon Photométrique a utiliser pur la Sensitométrie des Plaques Photographiques" am Kongreß für Photographie in Paris im Jahre 1925 (S. Rapports, 1926, S. 78) sehr eingehend auf diese Verhältnisse zu sprechen. — Er hob sie als wichtig hervor, allerdings ohne Schwarzschild's und anderer Vorgänger zu gedenken, die diese Methode in die photographische Sensitometrie eingeführt und den Begriff der „relativen Aktinität" geschaffen hatten. — Ch. Fabry äußert sich über das Verhältnis der photographischen Helligkeit (auf Bromsilber-Gelatine) zur optischen Helligkeit folgendermaßen: Die Größe der relativen Aktinität der Lichtquellen hängt von der Kurve ihrer spektralen Energie ab[1]), von der Spektralkurve der Plattenempfindlichkeit und der Farbenempfindung des menschlichen Auges. — Als Einheit wählt man am besten als Vergleichs-Lichtquelle die Hefnerkerze und eine Bromsilber-Gelatine-Platte, deren relative Aktinität = 1 gesetzt wird. Beschränkt man die visuelle Photometrie auf den Bezirk der größten optischen Helligkeit nächst 555 $\mu\mu$, so ergeben sich folgende relativen Werte der photographischen Wirkung (Fabry): Es seien zwei verschiedene Lichtquellen S und S' mit den absoluten Farbtemperaturen T und T' (wobei $T > T'$ ist) von gleicher visueller Intensität gegeben; auf Bromsilbergelatine wirken sie aber verschieden intensiv (je nach dem Gehalte an „aktinischen" Strahlen, der mit der Temperatur steigt); somit gilt $J : J' = y$. — Die Größe des Bruches y hängt von der spektralen Energieverteilung der beiden Lichtquellen, der Empfindlichkeitskurve des Auges und der photographischen Platte ab, d. h. bei gleicher optischer Helligkeit wirkt Tageslicht viel stärker als die Hefnerkerze usw.

Nachstehende Tabelle enthält die Werte von y, d. i. des Verhältnisses der optischen zur chemischen Helligkeit verschiedener Lichtquellen für Bromsilbergelatineplatten bezogen auf die Hefnerlampe.

Lichtquelle	y nach Fabry
Tageslicht, mittleres	11
Halb-Wattlampe	3,3
Wattlampe	2,6
Azetylenlampe	2,3
Hefner-Lampe	1

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Diese Zahlen für den Quotienten y Fabrys sind aus der Verteilung der Farbenintensität in der Kurve der Farbtemperaturen berechnet und sind ihrem Wesen nach gleich der experimentell bestimmten Schwarzschildschen „relativen Aktinität", die beide auf Hefnerkerzen bezogen sind.

Während man für gewöhnlich (entsprechend dem Vorschlage Schwarzschilds) die relative Aktinität auf die Hefnerkerze als Einheit der optischen und photographischen Wirkung bezieht, wählten L. A. Jones, M. B. Hodgson und Kenneth Mees[1]) bei ihren Untersuchungen über „Relative photographic and visual Efficiencies of Illuminants" das direkte Sonnenlicht als Vergleichseinheit, deren Wert sie = 100 setzten und darauf die relative Aktinität verschiedener Lichtquellen für Bromsilbergelatine, orthochromatische und panchromatische Platten ableiteten. Die orthochromatischen Platten waren mit Erythrosin sensibilisiert, die panchromatischen vermutlich mit Pinachrom oder davon abgeleiteten Kombinationen, sensibilisiert. Folgende Tabelle schildert auszugsweise die Befunde:

Lichtquelle	Wirkung auf verschiedene Plattensorten		
	Gewöhnliche Bromsilber-gelatine	orthochrom. Platten	panchromat. Platten.
Sonnenlicht (mit Spiegel reflektiert)	100	100	100
Himmelslicht	181	155	130
Elektr. Bogenlicht mit Reinkohle . .	126	112	104
Elektr. Bogenlicht (eingeschlossen, Bogen)	157	177	165
Weiße Effektkohle	257	234	215
Quecksilber Cooper-Hewitt Lampe . .	316	354	273
Quecksilberquarzlampe	600	500	367
Kohlenfaden-Glühlampe	23	32	42
Wolframfadenlampe (Vakuum) . . .	33	41	50
Wolframfadenlampe mit Stickstoff-füllung	64	68	75
Azetylen	30	44	52
Pentanlampe	8	28	42

Photographischer Vergleich des Kerzenlichtes mit Bogenlicht oder Magnesiumlicht.

Geht man bei der Prüfung photographischer Platten von der Hefnerkerze zu einer anderen Lichtquelle über, so ändern sich mit einer variablen Farbenempfindlichkeit der diversen Plattensorten die relativen Empfindlichkeitsanzeigen gegeneinander, bleiben aber bei ein und derselben Plattenkategorie von Fall zu Fall konstant. Ge-

1) Transact. Illum. Engin. Soc. 1915, Nr. 10. — Abridg. Scient. Public. Eastman-Kodak. 1919. Nr. 30.

wöhnliche blauempfindliche Platten aber sind auf ihre Empfindlichkeit gut bei Kerzenlicht zu vergleichen.

Die starken relativen „Empfindlichkeits-Schwankungen“ von blauempfindlichen Platten gegenüber orthochromatischen Platten bei Kerzenlicht und elektrischem Bogenlicht geht aus Eders Tabelle[1]) (1901) hervor:

Tabelle der relativen Empfindlichkeit verschiedener photographischer Platten bei Hefner-Licht und elektrischem Bogenlicht:

Plattensorte	Hefnerkerze (direkt wirkend)	Elektr. Kohlenbogen (von weißem Papier reflektiert)
Bromsilbergelatine	1	1
Erythrosinplatte	2,3	1,27
Andere orthochromatische Platte . .	1,6	0,67
Ebenso	1,2	0,42

In späteren Kapiteln sind zahlreiche Empfindlichkeits-Relationen bei Hefnerlicht gegenüber Magnesiumlicht usw. angegeben, da dies für die Handhabung des Eder-Hecht-Sensitometers in Betracht kommt. Z. B. zeigt eine mittelmäßig mit Pinaverdol sensibilisierte „panchromatische“ Platte bei Magnesiumlicht im Vergleich mit einer gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatte die Empfindlichkeit = 1, mit der Hefnerlampe aber = 3,6.

In der praktischen Kinematographie benützt man derzeit häufig hypersensibilisierte panchromatische Filme, die ihre Überlegenheit bei Momentaufnahmen bei verschiedenen künstlichen Lichtquellen zeigen sollen (Aufnahmen von Straßenszenen bei Nacht und verschiedenartigem Lampenlicht). Hierüber geben sensitometrische Messungen Aufschluß, die Kurt Jacobsohn (Phot. Indust. 1928, (S. 62) veröffentlichte. Er benützte ein panchromatisches Sensibilisierungsbad, bestehend aus: 500 ccm Wasser, 250 ccm Alkohol, 7 ccm alkoholische Pinachromviolett-Lösung (1 : 1000), 7 ccm Pinachromlösung (1 : 1000) und 15 ccm einer Lösung von 0,8 g Chlorsilber und 100 ccm Ammoniak (spez. Gew. 0,91). Der Film wird in dieser Lösung 3—4 Minuten lang gebadet und getrocknet oder besser zunächst in wässerigem Alkohol (1 Vol. Alkohol und 3 Vol. Wasser) zwei Minuten lang ausgewaschen und dann erst getrocknet.

1) Eder, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Wien, Juli 1901. — Auch Eder und Valenta, Beiträge z. Photochem. u. Spektralanalyse, 190, II, S. 130.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Empfindlichkeit eines solchen hypersensibilisierten panchromatischen Films gegen verschiedene Lichtquellen — bezogen auf eine reine Bromsilbergelatineplatte — zeigt folgende Tabelle Jacobsohns.

Lichtquelle	Empfindlichkeitssteigerung der Bromsilbergelatine zufolge der Hypersensibilisierung der panchromatischen Platte
Magnesiumlicht	2,1
Elektrisches Bogenlicht	2,5
Halbwatt-Lampe	3,0
Metallfadenlampe	6,3

Man erkennt die besondere Überlegenheitt der panchromatischen Platte bei Verwendung von Lichtquellen, die reich an orangegelben und roten Strahlen sind.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ACHTZEHNTES KAPITEL.

DIE VIER KLASSEN DER IN DER SENSITOMETRIE GEBRÄUCHLICHEN NORMALLICHTQUELLEN.

Die allgemeinen Richtlinien für die Wahl der Normallichtquellen wurden bereits im XV. Kapitel angegeben.

Für die praktische Sensitometrie erleichtert die Einteilung der hierfür verwendeten Lichtquellen in vier Klassen die Übersicht.

Die in der Sensitometrie oder photographischen Photometrie angewendeten Normallichtquellen kann man (je nach ihrer Weiße und Farbtemperatur) in vier Klassen einteilen:

Erste Klasse: Die Normalkerze (Hefnerkerze, Walratkerze, Benzinkerze) ist stark gelblich und arm an blauen und violetten Strahlen.

Zweite Klasse: Die Azetylenflamme und die standardisierte elektrische Glühlampe; ihr Licht ist weißlich mit gelber Nuance und ist etwas reicher an blauen und violetten Strahlen als die vorige.

Dritte Klasse: Das Magnesiumlicht und der elektrische Kohlenbogen (Reinkohle), frei an der Luft brennend; die Farbe beider ist reinweiß und kommt dem des Tageslichtes bei etwas bewölktem Himmel nahe, ohne dem Sonnenlicht gleichzukommen. Beide sind reich an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen; am nächsten dem Tageslicht kommt das elektrische Bogenlicht.

Vierte Klasse: Das Sonnenlicht mit der angenommenen mittleren Farbtemperatur von 5000 Grad absol.

Das konventionelle mittlere Mittagssonnenlicht und die Nachahmung seiner spektralen Energieverteilung im Laboratorium mit terrestischen Lichtquellen wurde bereits auf S. 242 besprochen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Im nachstehenden folgt die Einzelbeschreibung der wichtigsten Normallichtquellen.

I. Klasse. Die Normalkerzen.

1. Die Amylazetatlampe (Hefnerkerze).

Die von dem Ingenieur Friedrich von Hefner-Alteneck im Jahre 1884 als Normallichtquelle eingeführte Amylazetatlampe oder Hefnerkerze (H.-K.) ist in Deutschland als Lichtnormale für die visuelle Photometrie der Beleuchtung offiziell und wird auch als Strahlungsnormale verwendet[1]).

Die Gesamtstrahlung pro 1 Meter-Kerze beträgt

0,0000215 g calor. = 900 erg. sec.$^{-1}$ cm^{-2}.

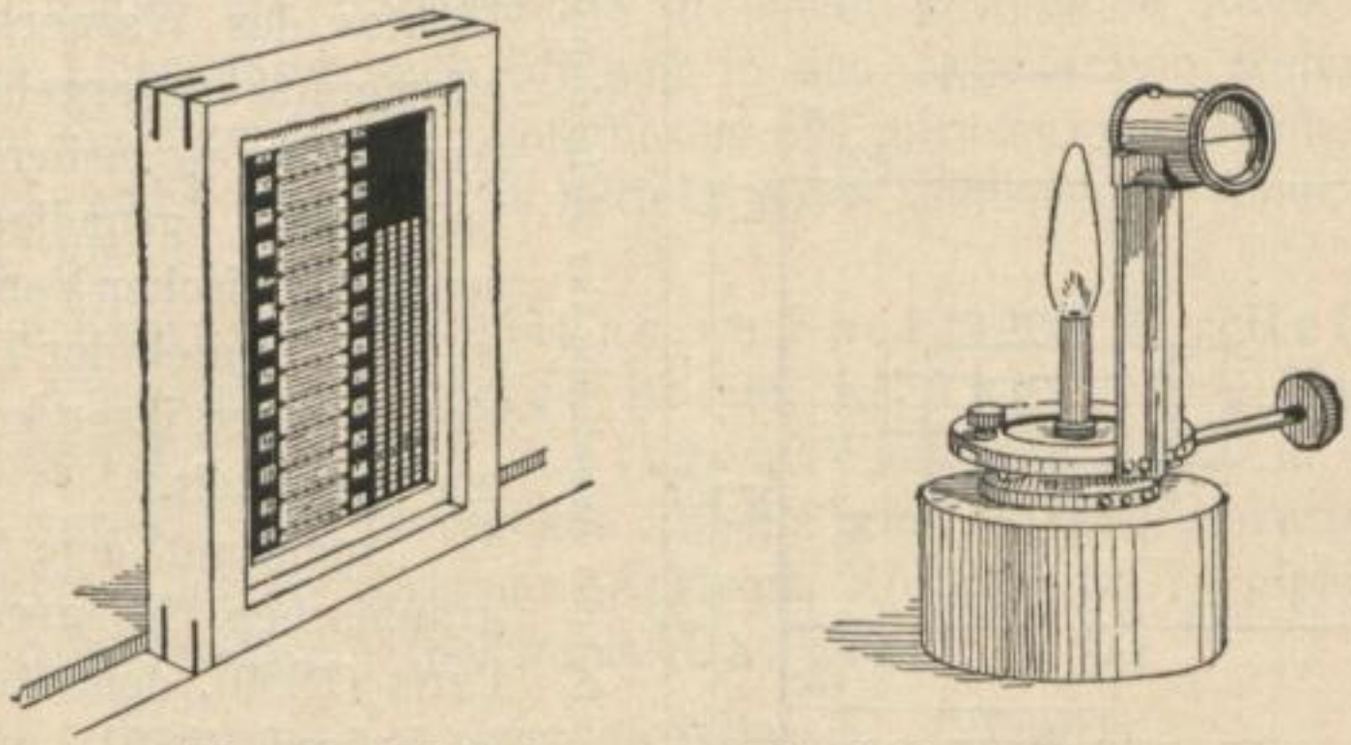


Abb. 122. Hefnerlampe und Graukeilsensitometer.

Die Hefnerlampe enthält einen mit Amylazetat gespeisten Docht in einer Neusilberhülse von 8 mm Öffnung; die Flammenhöhe ist 40 mm, welche mit einem optischen Visierrohr kontrolliert wird. — Amtlich geprüfte Lampen liefert die Physikalische Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg, Werner Siemensstraße.

Die Flammenhöhe wird erst nach 5—10 Minuten langer Brenndauer bleibend konstant.

Der Siedepunkt des zur Photometrie verwendeten Amylazetates (primäres Isoamylazetat) liegt zwischen 138 bis 144° C; es soll frei von Essigsäure und Wasser sein.

Abbildung 122 zeigt die Aufstellung der Hefnerlampe vor einem Eder-Hecht-Sensitometer; der normale Abstand ist 1 m, gemessen von der Flammenmitte bis zur Oberfläche der photographischen Schicht.

---

1) Näheres s. „Physikal. Handwörterbuch“ von Berliner und Scheel. 1924, S. 179 (Berlin). — Ferner: Fr. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik. 1921, S. 342.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

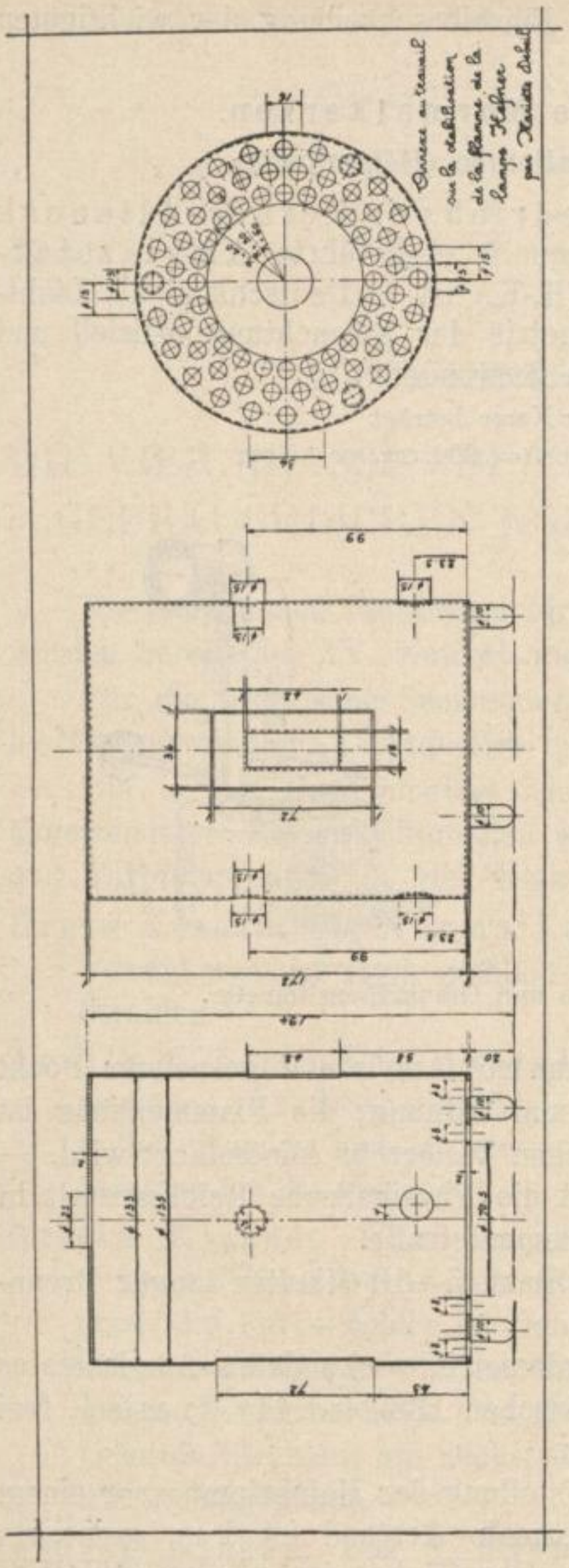


Abb. 123. Debeils Anordnung der Hefnerlampe.

Die besondere Verwendbarkeit der Hefnerkerze zu photographisch-sensitometrischen Zwecken wurde von J. M. Eder im April 1885 unter Nachweis der verschiedenen relativen Wirksamkeit der Hefnerkerze, des Magnesium- und des Tageslichtes, sowie des blauen Phosphoreszenz-Lichtes des Warnerke-Sensitometers hervorgehoben[1]). Auch Abney bediente sich bei seinen grundlegenden sensitometrischen Versuchen (s. VIII. Kapitel) der Hefner-Kerze wegen ihrer konstanten Helligkeit.

Auch auf dem Photographischen Kongresse in Paris (1889), dem Kongreß in Brüssel (1891) und auf dem Internationalen Kongreß für angewandte Chemie (1898) in Wien wurde die Hefnerkerze, bei letzterem (über Eders Vorschlag) zur Eichung des Scheiner-Sensitometers unter Verwendung reiner Bromsilbergelatineplatten, angenommen. Es empfiehlt sich, generell die Eichung von photographischen Sensitometern primär mit der Hefnerkerze und reiner, mittelmäßig empfindlicher Bromsilber-Gelatine vorzunehmen.

1) Vortrag, gehalten von Eder in der Akademie der Wissenschaften in Wien am 15. April 1885. (Sitzungsberichte der Akad. d. Wiss., Wien 1885, abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904.)

Die Flamme der Hefnerlampe ist sehr empfindlich gegen Luftzug und flackert dann. Um das Flackern der Hefnerflamme zu vermeiden, kann die Lampe in einem Gehäuse mit siebartig dicht durchlöchertem Boden und Schornstein untergebracht werden. Höhe des Mantels 174 mm, Durchmesser 135 mm, obere Öffnung 25 mm, am Boden drei Reihen von je 24 Löchern im Durchmesser von 40, 50 und 60 mm; Füßchen von 20 mm Höhe. Um Fehler durch Reflexion an den Seitenwänden des Gehäuses zu vermeiden, ist es zweckmäßig, seitliche Fenster von verschiedener Öffnung zu verwenden und das kleinere (42 mm) dem Photometer zuzuwenden; das größere hat 72 mm. Die Abweichung von der Lichtstärke ohne Gehäuse ist gering (s. Debeil, Pariser phot. Kongreß 1925; Phot. Ind. 1925, S. 926). Abbildung 128 macht diese Debeilsche Anordnung deutlich ersichtlich.

Um das Flackern der Amylazetatflamme zu vermeiden, stellt O. Krumpel die Hefnerlampe in einem getrennten Raume auf, läßt das Licht durch eine Öffnung in den Arbeitsraum treten und reguliert die Flammenhöhe von diesem aus mittelst eines Hookeschen Schlüssels und kontrolliert sie mittelst eines Hohlspiegels (Phot. Korr. 1928, S. 72).

Die Energieverteilung im Spektrum der Hefnerschen Amylazetatlampe ist von K. Angström, Physikal. Zeitschrift 1904, S. 476, E. Köttgen (Wied. Ann. 1894) u. a. gemessen worden[1]). Nachfolgende Tabelle gibt die Energieverteilung im Spektrum der Hefnerlampe (Anström, Köttgen) im Vergleich mit der Energie des Sonnenspektrums (Langley):

	Wellenlänge	Energie i. Spektrum d. Hefnerlampe	Energie im Sonnenspektrum
Blau	430	0,12	380
	470	0,35	502
	490	0,60	560
Grün	510	0,95	588
	530	1,4	604
	550	2,0	614
Gelb	570	2,8	620
	590	3,7	622
orange	610	4,7	617
	630	6,1	614
	650	8,0	603
rot	670	9,9	590
	690	11,1	568

1) Eine gute Zusammenstellung gibt S. E. Sheppard in seinem „Lehrbuch der Photochemie", Leipzig 1916, S. 88. — Über die Energieverteilung im Spektrum der Hefnerlampe siehe: K. Angström, L'energie dans le spectre visible de l'étalons Hefner (Upsala Berling, 1903), ferner: O. Leder, Annal. d. Physik, 1907, Bd. 24, S. 305. — S. Valentiner und M. Rössiger, Annal. d. Physik, 1925, Bd. 76, S. 785. — Berichte der Physik.-techn. Reichsanstalt in Charlottenburg, Bericht für 1926 (Zeitschr. f. Instrumentenkunde.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wie man sieht, überwiegt die Helligkeit des roten Teiles des Spektrums der Hefnerkerze weit über die relative Helligkeit im Blau und verschwindet im Violett gegen Ultraviolett.

Die Hefnerkerze hat den großen Nachteil einer sehr geringen Helligkeit im blauvioletten Spektralbezirk, weshalb sich ihre Farbe sehr stark von der des mittleren Tageslichtes entfernt.

Deshalb haben die Sensitometerproben nur einen relativ vergleichenden Wert; eine Eichung der Sensitometer ist zunächst nur bei Verwendung von reinem Bromsilber-Gelatine-Platten durchführbar und die Sensitometeranzeigen von farbenempfindlichen Platten entsprechen durchaus nicht ihrer Empfindlichkeit bei weißem Licht. — Die Sensitometeranzeigen hinter roten, gelben und grünen Lichtfiltern erscheinen (wie bereits oben Seite 359 angegeben) viel zu hoch gegenüber der Blauempfindlichkeit bei Tageslicht; man kann aber eine Reduktion der Anzeigen der Hefnerkerze auf Magnesiumlicht, Tageslicht usw. vornehmen (s. S. 349).

Nichtsdestoweniger bietet die Hefnerkerze eine sichere Grundlage für die Durchführung der relativen Empfindlichkeitsproben speziell mit blauempfindlichen Platten, zur Bestimmung der Gradation, zur Eichung von Sensitometerskalen und für die Zurückführung von Sensitometergraden auf Sekunden-Meter-Kerzen (S. M. H.).

2. Die englische Walratkerze.

Die uralte englische Walratkerze ist als überholt zu betrachten. Allerdings arbeiteten die Engländer Hurter und Driffield seit 1899 bei ihren sehr bemerkenswerten sensitometrischen Versuchen, die sie zu der Konstruktion der „Schwärzungskurven“ führten; auch findet man sie noch in England bei dem „Plattenprüfer“ von Chapman Jones usw., aber man ist für genauere Arbeiten von der Walratkerze abgekommen.

Die visuelle (optische) Helligkeit einer Walratkerze von 45 mm Flammenhöhe ist gleich 1,14 Hefnereinheiten. Die photographische Wirkung (chemische Helligkeit) auf Bromsilbergelatineplatten ist nach J. M. Eder gleich 0,93 Hefnerkerzen (Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch., Wien, Juli 1901; Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie u. Spektralanalyse, 1904, II, S. 137).

---

1) Eder, System der Sensitometrie, I. Sitzungsber. d. Akadem. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturwiss. Kl. Nov. 19., 1899 und Dez. 1900. (Daselbst Zurückweisung unbegründeter Kritik Prechts über diese sekundäre Lichtquelle.)

3. Die Scheiner'sche Benzinlampe.

Die Benzinlampe wird in der Photometrie häufig als sekundäre Lichtquelle benützt. In der photographischen Sensitometrie wurde eine besondere Form derselben von Scheiner in Potsdam für sein Sensitometer vorgeschlagen und alle zu seiner Verwendung notwendigen Konstanten wurden von Eder 1898—1900 bestimmt.

Abb. 124 zeigt die Scheinersche Benzinlampe, welche dem Typus der sogenannten „Ligroinlampe“ mit großer Höhe des Saugdochtes entspricht; dieser ist durch ein Zahnrad verstellbar. Die Höhe der Dochthülle beträgt 14 cm, der Durchmesser 6 mm. Der Ligroinbehälter faßt über 100 ccm des Leuchtmaterials. Die Flammenhöhe ist 28 mm; sie wird mit einem Diopter (von Eder angegeben) kontrolliert. Die Flammenspitze muß genau den feinen Draht erreichen. Die Flamme wird durch ein Fensterchen mit einem Schlitz, der 1 mm hoch und 15 mm breit ist, seitlich abgeblendet (Abstand von der Dochtachse 14 mm). Die Unterkante des Spaltes liegt $14^1/_2$ mm über der Dochthülse. Ein roter Glaszylinder von 45 mm Durchmesser und 23 mm Höhe schließt die Flamme ein, besitzt jedoch ein Loch von 17 mm Durchmesser, das das Licht frei austreten läßt.

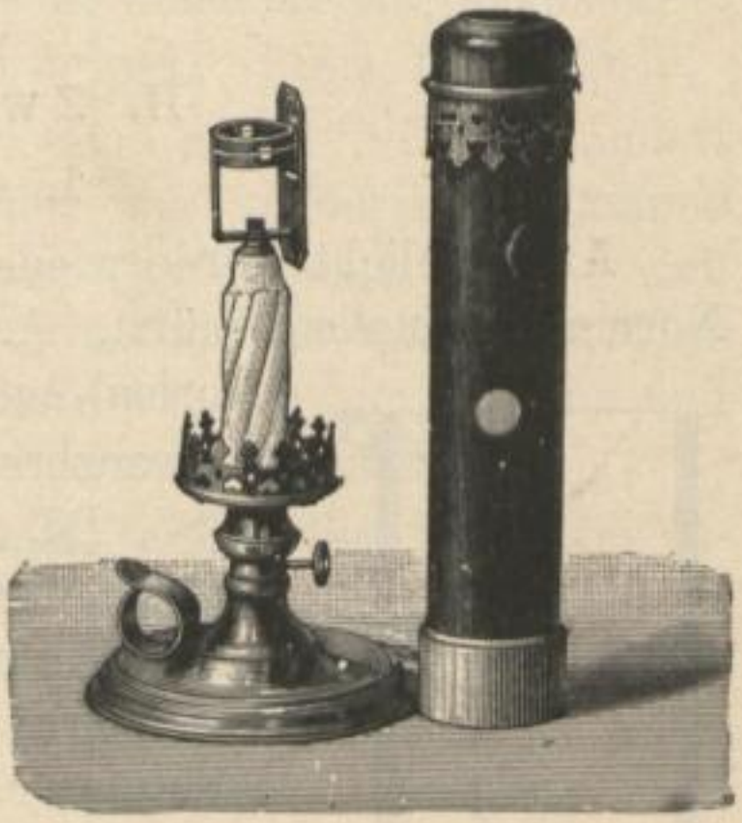


Abb. 124.
Scheiner Benzin-Normallampe.

Als Brennmaterial dient Petroleumbenzin (sogenanntes Gasolin) vom spez. Gewicht von 0,704 bei 15 Grad C.

Die Qualität des Petroleum-Benzins übt einen Einfluß auf die Helligkeit der Flamme. Benzin, dem höher siedende Fraktionen beigemengt waren, zeigt einen Helligkeitszuwachs von 4% in der Scheinerschen Benzinlampe. Benzin anderer Provenienz vom spezifischen Gewicht von 0,730 bei 15 Grad Celsius gab merklich helleres Licht, das bei praktischen Sensitometerproben mit Bromsilberplatten eine höhere Anzeige (um plus ½ Grad Scheiner) ergab. — Die Benzinkerze ist also nicht als primäre, wohl aber als sekundäre Lichteinheit zu verwenden (Eder, Phot. Korr. 1899, S. 714).

Die photographische Helligkeit der durch den Schlitz abgeblendeten Scheinerlampen entspricht normal 0,0756 der Hefnerkerze, bezogen auf Bromsilber-Gelatine (Eder). Man wird also bei genauen Messungen sich der Hefnerschen Amylazetatlampe bedienen, welche im Abstand von 3,637 Meter (von der Dochtmitte gemessen) dieselbe

photographische Wirksamkeit auf Bromsilber-Gelatine ausübt wie die Scheinersche Benzinlampe im Abstande von einem Meter.

Die Reduktion der abgeblendeten Scheinerkerze auf Sekundenmeterkerzen mit der Hefnerlampe ist leicht möglich[1]). — Die spektrale Zusammensetzung beider Lichtquellen ist so ähnlich[2]), daß keine praktisch wesentlichen Abweichungen in den Sensitometeranzeigen eintreten.

Diese Benzinlampe braucht einige Minuten, bis sie gleichmäßig brennt und leuchtet dann konstant weiter.

II. Zweite Klasse.

1. Azetylenlicht.

Azetylenlicht wurde wiederholt von verschiedenen Forschern als Normallichtquelle benützt. A. Violle schlug im Jahre 1895 eine Normal-Azetylenlampe mit einem Schwalbenschwanzbrenner als Standard vor (Compt. Rend. 1895, Bd. 122, S. 79; Zeitschr. f. Physikalische Chemie, 1896, Bd. 20, S. 613). Für Zwecke der Sensitometrie photographischer Platten haben insbesondere C. E. Kenneth Mees und S. E. Sheppard die Azetylenlampe a's sekundäre Lichteinheit eingeführt und in dem Versuchs-Laboratorium der Eastman-Kodak-Compagnie in Rochester verwendet (Phot. Journ. 1910. S. 287. — L. A. Jones, Transact. Illum. Eng. Soc. 1914, Nr. 8; Abridq. Scient, Publ. Eastman Kodak 1913/14, S. 16).

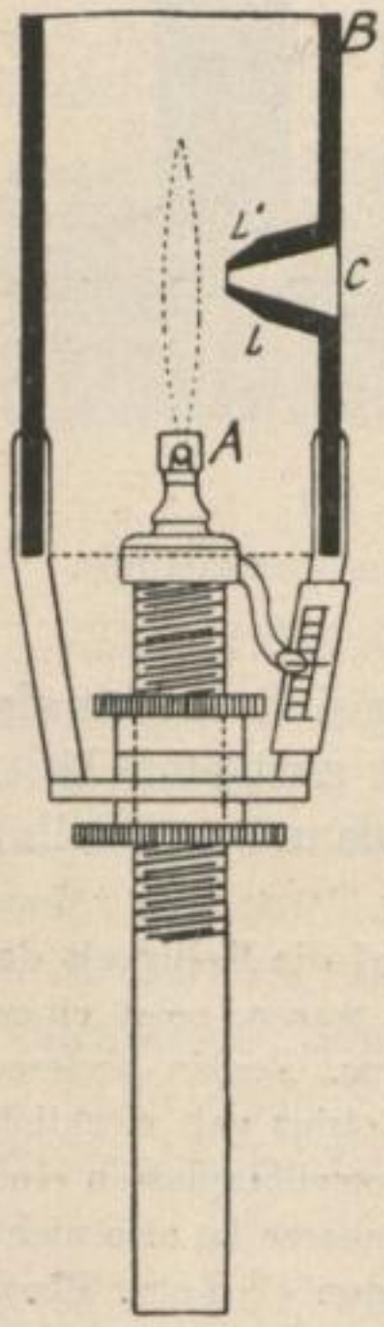


Abb. 125.
Azetylen-Brenner für Normallicht von Mees.

1) Besitzt man keine Hefner-Normal-Lampe, so kann die Scheinersche Benzinkerze für praktisch-photographische Zwecke einen Ersatz gewähren. Man wählt meistens den Abstand der Hefnerlampe vom Sensitometer = 1 m (s. Eder-Hecht, Sensitometer).

2) Dies ist näher begründet in Eders Abhandlung „System der Sensitometrie II", Sitzungsbericht der Akademie d. Wiss., Wien, Mathem.-Naturw. Kl. 6. Dez. 1900; abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse 1904, II, S. 121.

Da die normale Scheinerkerze (mit dem Schlitz s. S. 365) eine photographische Helligkeit für Bromsilbergelatine von 0.0756 Hefner-Einheiten besitzt, so muß man sie in einem Abstand von 0,274 Meter vom Sensitometer aufstellen, um denselben Effekt zu erhalten wie mit einer Hefnerlampe in 1 m Entfernung.

Das Azetylengas wird aus Kalziumkarbid erzeugt[1]) und dann durch einen besonderen Reinigungsapparat geleitet[2]).

Für photographische Zwecke benützt man eine zylindrische Einlochflamme und blendet den langen dünnen Flammenkegel ab. Der Wasserdruck im Gasbehälter ist normal 9 cm, kann aber unbeschadet der Helligkeit von 8—10 cm schwanken. Die Leistungsfähigkeit der Azetylennormale hängt im hohen Grade von der Type des Brenners ab. Am besten entspricht der sogenannte „Mees"-Azetylenbrenner" (Standard bourner), den die Eastman Kodak Companie in Rochester erzeugt und in den Handel bringt. (Preis 15 Dollar.)

Abbildung 125 zeigt diesen „Mees-Brenner". Er konsumiert $^1/_4$ Kubikfuß Gas pro Stunde und gibt eine zylindrische Flamme von 3 mm Durchmesser und 5 mm Höhe. Der Brenner befindet sich in einem zylindrischen Metallgehäuse (B), das seitlich eine rechteckige Öffnung (C) hat. Ein Metallkonus reicht bis 2 mm zur Flamme und blendet durch einen Schlitz von 4 mm Breite die Flamme ab.

Nach Koblentz (Bureau of Standards Amerika, Scientific papers 1916, Nr. 279; besprochen von Jules Baillaud, Science et Ind. Phot. 1925, Nr. 57) zeigt die Azetylenflamme folgende Energieverteilung:

Wellenlänge	Energie	Wellenlänge	Energie
400	5	600	625
425	7	620	733
440	85	625	761
450	100	640	850
460	118	650	912
475	150	660	976

---

1) Näheres über den Azetylenbrenner s. Sheppard & Mees, „Untersuchungen über die Theorie des photographischen Prozesses". W. Knapp, Halle a. S. 1916, S. 15), ferner Phot. Journ. 1910. — Vgl. auch Wildermann (Zeitschr. f. physikal. chem. 1903, Bd. 42, S. 235); dann Wallace, Astrophys. Journ. 1908. Ferner: S. E. Sheppard, „Lehrbuch der Photochemie" 1916, S. 92 (Leipzig). J. A. Barth. — L. A. Jones gibt eine neue Form der Azetylenlampe für photometrische Zwecke an. (Transact. Illum. Eng. Soc. 1914, Nr. 8. — Abridg. Scientif. Public. From Research Lab. Eastman Kodak Comp. 1913—1914, S. 1). L. W. Hartmann verglich spektrophotometrisch: Azetylenlicht, Drummondsches Kalklicht, Nernstlampe, Gaslicht, Azetylen, elektrisches Bogenlicht und Magnesiumlicht (Physik. Zeitschr. 1904, Bd. 5, S. 5); im Auszuge mitgeteilt in Sheppards „Lehrbuch der Photochemie" 1916, S. 110.

2) Das Azetylengas muß namentlich von dem es verunreinigenden Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak gereinigt werden (Vgl. Ullmann, Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, S. 139); dies geschieht mit Chlorkalk und Kaliumbichromat.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wellenlänge	Energie	Wellenlänge	Energie
500	209	675	1075
520	275	680	1109
525	292	700	1241
540	346	720	1375
550	389	740	1510
560	429	750	1579
580	522		

Im Sonnenlicht ist die Energieverteilung eine ganz andere, z. B. ist die Radiation bei 600 im Orange die doppelte wie im Blau bei 450 (vgl. S. 334).

Über die Verwendung des Azetylenlichtes als Normallichtquelle wurden im Pariser Laboratorium Central d'Electricité von J. Baillaud und R. Jouaust eingehende Versuche mit Bezug auf verschiedene Brenner gemacht. Sie brachten ein horizontales Schlitzfenster vor die Azetylenflamme (40 mm Höhe) und fanden hierbei, daß die Farbe des Azetylenlichtes in den verschiedenen Teilen der Flamme verschieden ist und von der Form des Brenners und von den klimatischen Einflüssen beträchtlich abhängt. Sie berichteten hierüber am Pariser Photographischen Kongreß 1925 (Phot. Indust. 1925, S. 926).

Am weitesten und besten ausgebildet wurde das Azetylen-Normallicht von Mees im Eastman-Kodak-Versuchs-Laboratorium. Die Farbtemperatur des Azetylenlichtes wurde wiederholt bestimmt (s. o.), am Pariser Kongreß 1925 mit 2360° absol. festgestellt und die gleichzeitig standardisierte elektrische Glühlampe auf dieselbe Farbtemperatur gebracht.

Die Herstellung des Azetylengases bringt viele Unzukömmlichkeiten im photographischen Laboratorium mit sich und ist in der Hand des Ungeübten nicht ganz gefahrlos; es konnte sich deshalb im Betriebe der Trockenplattenfabrikation oder in den Laboratorien der Berufsphotographen nicht einbürgern, sondern man nahm lieber auf dieselbe Farbtemperatur standardisierte elektrische Metallfadenlampen (s. S. 370), falls man nicht vorzog, sich jener Lichtquellen zu bedienen, deren „Weiße" näher dem Tageslichte liegt (s. S. 337).

Man hat auch nicht ohne Erfolg versucht, die Farbe des Azetylenlichtes durch Vorschalten von blauen Lichfiltern dem weißen Tageslicht ähnlich zu machen; diese Lichtfilter sind dieselben, die man für die standardisierte elektrische Metallfadenlampe anwendet (s. die Tabelle von Davis und Gibson auf S. 343).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Über das Verhalten verschiedener photographischer Platten (orthochromatisch, panchromatisch und hypersensibilisiert) gegen Azetylenlicht im Eder-Hecht-Sensitometer s. dieses.

2. Elektrische Glühlampen.

Für photometrische Zwecke werden häufig elektrische Metallfadenlampen (Vakuumlampen) verwendet[1]), die mit genau kontrollierter konstanter Stromstärke oder Spannung (Akkumulatoren) gebrannt werden[2]). Benützt man eine bügelförmige Form des Metallfadens, so mißt man das zu ihrer Ebene senkrecht ausstrahlende Licht und eicht mittels der Hefnerkerze, sei es optisch, sei es photographisch mit reiner Bromsilber-Gelatine. Diese Glühlampen sind für die Sensitometrie photographischer Platten zu hell und sie werden durch Vorschalten von Mattglas (ein oder mehrere Schichten) gedämpft und diffus gemacht. Dies geschieht in einem vorgebauten Laternengehäuse und die Öffnung des Mattglases kann durch kreisrunde Blenden abgeblendet werden. — Man kontrolliert die Belastung mit einem Präzisions-Ampèremeter bis auf 0.002 Ampère auf ihre Konstanz; man beachte, daß geringe Abweichungen in der Stromstärke wesentliche Abweichungen in der Lichtstärke verursachen (vgl. S. 371).

W. Barnett verglich zahlreiche elektrische Glühlampen auf ihre Eignung als sekundäre Lichteinheit und fand, daß man keine befriedigende Resultate mit Lampen mit niedriger Voltage erhalten könne; auch kommt die Konstanz der gasgefüllten Glühlampen, trotz aller Fortschritte, nicht jener der bewährten Vakuum-Glühlampen gleich (Proceed Opt. Convent 1926, Bd. 1, S. 277. — Science et Indust. Phot. März 1927, S. 47.)

Am VI. Internationalen Kongreß für Photographie in Paris 1925, dessen Protokoll die „Soc. Franç. de Phot."

1) Solche Standard-Glühlampen mit der Farbtemperatur = Azetylen mit genauer Angabe der dazugehörigen elektrischen Belastung liefert z. B.: die Physik. technische Reichsanstalt in Berlin, das „National Physical Laboratory" in London, eventuell die Royal Photographic Society of Great Britain.

2) Über die Änderung des aktinischen Wertes von Glühlampen mit der Stromspannung stellte L. Lobel (Bull. Soc. Franç. April 1913; Kinotechnik, 1927, S. 324) Versuche an. Als Lichtquelle diente eine Metallfaden-Glühlampe von 50 Kerzen und 55 Volt. Es wurde Bromsilberemulsion verwendet und der aktinische Wert mit der optischen Helligkeit verglichen. Es ergab sich folgende Tabelle:

Spannung . . .	60	55	47	40	30	25
Aktinischer Wert	1,8	1,0	0,54	0,17	0,03	0,01
Optischer Wert .	1,25	1,0	0,65	0,36	0,12	0,05

Oberhalb der normalen Spannung steigt die aktinische Intensität viel schneller an als die optische; bei Verringerung der Spannung tritt das Gegenteil ein. (Gegenwärtig verwendet man Glühlampen mit ca. 100 Volt.)

in Paris (1926) in einem besonderen Band veröffentlichte, wurde als Standard für sensitometrische Prüfung photographischer Platten und Papiere usw. eine Lichtquelle festgesetzt, deren Strahlung der optischen Strahlung eines schwarzen Körpers bei der absoluten Temperatur von 2360 Grad entspricht. Dieser Farbtemperatur entspricht praktisch eine Azetylenflamme oder eine elektrische Vakuum-Metallfadenlampe, die durch geregeltere Stromzufuhr auf dieselbe spektrale Zusammensetzung der Azetylenflamme (Farbtemperatur 2360° absolut) gebracht werden kann. Die Beleuchtungsstärke (optisch) soll zwischen 1 bis 10 Meterkerzen, für den unteren Teil der Schwärzungskurve 0,01 Meterkerzen betragen.

Das Komitee der Royal Phot. Society von London schlug 1925 vor (Phot. Ind. 1925, S. 678; Phot. Journal 1925, Nr. 2, 4, 6), eine Einheitslichtquelle für Sensitometer von 4 Meterkerzen (optisch) zu wählen. — Man benutzt eine Metallfadenlampe von 15 bis 20 Kerzen (s. oben). Man stellt die Lampe so entfernt auf, daß sie optische 4 Kerzen zeigt. Zum Zwecke der Sensitometrie von photographischen Platten wird eine Beleuchtung von 0,01 Meterkerzen für den Bereich des unteren Teiles der Schwärzungskurve empfohlen; man kann sie erzeugen, indem man die Lichtstrahlen dieser Lichtquelle von einem gepreßten Block von weißer Magnesia reflektieren läßt oder mattierte Gläser einschaltet.

Beim Gebrauche von Glühlampen als Normallichtquellen sind folgende Vorsichtsmaßregeln zu beachten: Speisung durch Akkumulatorenstrom, der durch ein Präzisions-Voltmeter kontrolliert wird, wobei die Spannung genau am Sockel und nicht an den Enden der Fassung zu messen ist. Im Vakuum brennende Wolframfadenlampen sind am geeignetsten; Spannung mindestens 100 Volt. Der Faden soll lang sein; die Lampentype ist auf Farbtemperatur zu prüfen und optisch genau zu photometrieren (Pariser Kongreß 1925).

Die Strahlung der Metallfadenlampe bricht im Ultraviolett bei der Wellenlänge 325 zufolge Glasabsorption steil ab. — Praktisch bricht auch das Tageslicht in dieser Region ab.

Die mit Gas gefüllten Metallfadenlampen zeigen eine höhere Farbtemperatur, maximal bis etwa 3644° absolut, bei stärkerer Belastung schmilzt der Wolframfaden bei etwa 3673° absol.; man erhält bessere Weiße als mit Vakuumlampen, aber sie sind noch schwieriger zu standardisieren.

R. Jouaust stellte im Labor. Centrale d'Electric. in Paris für den Gebrauch von Glühlampen als Normallichtquellen für Sensitometrie fest, daß folgende Vorsichtsmaßregeln zu beachten sind: Speisung durch Akkumulatorenstrom, der durch

ein Präzisions-Voltmeter kontrolliert wird, wobei die Spannung genau am Sockel und nicht an den Enden der Fassung zu messen ist.

Für Lampen, die mit Spannungen von ca. 100 Volt arbeiten, haben Schraubenfassungen genügend kleinen und konstanten Widerstand; der Gebrauch von Bajonettfassungen ist immer zu vermeiden. — Lampen mit niedriger Spannung sind nicht empfehlenswert. Die Kerzenstärke kann leicht nach den üblichen photometrischen Methoden bestimmt werden.

Im Vakuum brennende Wolframfadenlampen sind am geeignetsten; Kohlenfadenlampen können nicht stark genug belastet werden, um Licht mit einem genügenden Anteil an kurzwelligen Strahlen auszusenden, und Lampen mit Gasfüllung haben zu veränderliche Intensität. Da die Farbtemperatur eines kurzen Fadens wegen der Abkühlung an den Befestigungsstellen schlecht definiert ist, so soll der Faden lang sein (Pariser Kongreß f. Photogr. 1925, Phot. Ind. 1925, S. 924).

Elektrische Glühlampen werden mit Vorliebe zur Konstruktion von Schwärzungskurven verwendet, namentlich auch bei der Kontrolle des Fabriksbetriebes der Papierfabrikation (s. Scheiner Sensitometer und Graukeil-Photometer). Sie sind zu diesem Zwecke sowohl für „blauempfindliches Bromsilber“, als auch für Schwärzungskurven von panchromatischen Platten verwendbar, falls es sich um technische Proben handelt. Bei der Prüfung von Schwellenwerten von orthochromatischen und panchromatischen Platten, die bei Tageslicht verwendet werden sollen, macht sich beim Lichte der Glühlampen der allzustarke Gehalt an Licht längerer Wellenlänge (Rot, Gelb usw.) störend geltend, weshalb man Korrektions-Lichtfilter („Tageslichtfilter“, s. S. 285) vorschaltet oder zum rein weißen Magnesiumlicht übergeht.

Für den Betrieb in Versuchs-Laboratorien kann die Verwendung von konstant brennenden und durch genaue Strommessung kontrollierten elektrischen Glühlampen mit entsprechenden „Tageslicht-Filtern“ sehr empfohlen werden. — Derartiges „künstliches weißes Licht“ wird auch in der photographischen Technik vielfach verwendet.

(Über die Herstellung derartiger „Tageslicht-Lampen“ siehe S. 285 und 339.)

Dritte Klasse.

I. Magnesiumlicht.

Das an der Luft brennende Magnesium liefert rein weißes, dem Tageslichte ähnliches Licht, dessen aktinische Wirkung schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bekannt war (s. dieses Handbuch „Photographie bei künstlichem Licht“). Bunsen und Roscoë erwähnten (Pogg. Annal. der Physik, Bd. 101, S. 235) „daß die Verbrennung von Magnesiumdraht ein einfaches und sicheres Mittel zur

photometrischen Maßbestimmung darbiete". Sie verwendeten Drähte von 10 mm Länge, da kürzere Stücke unregelmäßig brannten.

Weit günstiger verhält sich das später in den Handel gebrachte rascher entzündliche und regelmäßiger brennende Magnesiumband, weshalb Stolze in Verbindung mit einem Gelatinegraukeil (Phot. Wochenbl. 1883, S. 17) und Eder (1884) mit einem Warnerke-Sensitometer eine genau gewogene Menge des Bandes in einer bestimmten Entfernung abbrannten und als Normallichtquelle zur Sensitometrie photographischer Platten benützten [1]).

H. W. Vogel empfahl das von weißem Papier reflektierte Magnesiumlicht zu relativen Empfindlichkeitsproben mit seinem zweiteiligen Röhrenphotometer (das für direkt einstrahlendes Licht unverwendbar ist) und hob die rein weiße Farbe derartigen Lichtes hervor (Eders Jahrbuch f. Phot. 1896, S. 230). Die Helligkeit des Magnesiumlichtes wird durch die Länge der Stücke, die Art des Abbrennens (kurze oder lange Zunge) stark beeinflußt, so daß es nicht einerlei ist, ob man ein einziges Stück des Bandes oder dieselbe Menge in kleinen Stücken abbrennt. Auf diese Schwierigkeiten machte Eder im Jahre 1903 aufmerksam [2]) und untersuchte unter bestimmten Bedingungen die optische und chemische Helligkeit des Magnesiumlichtes. Im Jahre 1919 standardisierte Eder das von 2 mg Magnesium ausgesendete Licht (s. S. 375) und stellte fest, daß das extradünne Magnesiumband bei mehrfacher Wiederholung der Probe eine befriedigende sensitometrische Lichteinheit abgibt.

Die chemische Helligkeit des Magnesiumlichtes ist verschieden (im Vergleich mit einer Hefnerschen Amylazetatlampe), je nachdem man das frei einstrahlende Licht auf die Bromsilbergelatineplatte fallen läßt oder dasselbe Glas oder graue Gelatineschichten usw.

1) J. M. Eder, („Ausführliches Handbuch der Photographie" 1884, Bd. I, S. 154) benutzte Stückchen von 5 bis 10 Milligramm Magnesiumband im Abstande von 3—4 m vom Warnerke-Sensitometer, da die damaligen Trockenplatten recht wenig empfindlich waren. — Das von Nickol (1881) vorgeschlagene Blitzpulver (Magnesiumpulver mit Salpeter) ist als Standard unbrauchbar. — Englisch hängte Stückchen von Magnesiumband im Gewichte von 2,6 mg an den Ecken eines Drahtsternes auf, so daß bei der Drehung des Sternes die Enden in die Spitze einer Bunsenflamme kamen (Englisch, Schwärzungsgesetz der Bromsilbergelatine. 1901.)

2) Eder, Photometrische Untersuchungen der chemischen Helligkeit von brennendem Magnesium, Aluminium und Phosphor. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissenschaften in Wien, 1903, Bd. 112, Abt. IIa, S. 249. April; auch abgedruckt in Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. 1904, II. S. 149, auch dieses „Handbuch" Bd. I, 3. Teil. Dritte Aufl. 1912, S. 621. — Eder, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1903, S. 119.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

passieren muß; in letzterem Falle wird ein beträchtlicher Teil des im Magnesiumlicht reichlich enthaltenen, sehr aktinischen ultravioletten Lichtes ausgeschaltet und die chemische Wirksamkeit geschwächt; es resultieren dann andere Werte für die relative Aktinität des Magnesiumlichtes, desgleichen geben orthochromatische Platten geringere, dagegen Chlorsilbergelatine höhere Werte hierfür.

Nach Eder entwickelt 1 mg an der Luft brennendes Magnesium, frei einstrahlend, 435 Hefner-Meter-Kerzen (H.-M.-K.) für Bromsilbergelatine[1]) und 872 H.-M.-K. für Chlorsilbergelatine. — Bei orthochromatischen Platten ist der Effekt von 1 mg nur 192 H.-K.-S.[2]) (Eder, Sitzungsber. d. Akad. Wiss. in Wien, Math. naturw. Kl. 1903. Bd. 112, Abt. II. a. S. 249. — Dieses Handbuch 1912, I, 3, S. 620).

Hinter farblosem Glas, das bekanntlich einen Teil des brechbareren Ultraviolett absorbiert, sinkt die photographische Wirksamkeit von 1 mg Magnesiumband auf Bromsilber auf etwa 300 H.K.S. oder mehr. Noch stärker ist der Verlust im Ultraviolett durch Tusche-Gelatine, wie sie zu Graukeil-Sensitometern verwendet wird. Das Licht einer Hefner-Kerze verliert im Eder-Hecht-Sensitometer beim Durchgang durch die mit Zelluloidfolien geschützte Glasplatte durchschnittlich 26% (s. Eder, Ein neues Graukeil-Photometer, 1920, S. 27); demzufolge kommen im Abstand der Hefner-Kerze von 1 m und einer Belichtung von 60 Sek. statt 60 H.K.S. nur ein entsprechender Bruchteil am Nullpunkt der Skala zur Wirkung. Weiter wurde gefunden, daß für Bromsilber-Gelatine derselbe Effekt mit 2 mg brennendes Magnesiumband im Abstande von 3 m erreicht wird; daraus ergibt sich ein Näherungswert für 1 mg Magnesium = 205 H.K.S. im Graukeil-Sensitometer.

Beim Verbrennen von Magnesiumpulver in Form von Pustlicht oder von Magnesiumblitzpulver ergeben sich nach Eder andere Werte für die photographische Wirkung des Magnesiums auf Bromsilbergelatine. — Magnesiumpulver, durch eine Bunsensche Gasflamme geblasen, ergibt (frei einstrahlend) pro 1 mg für Bromsilber ungefähr 385 M. K. S. und in Form von Blitzpulver mit Chlorat und Perchlorat oder Kaliumhypermanganat nur etwa 200 H. M. S. (Eder). — 1 g Magnesiumpulver

---

1) Bei Versuchen im Versuchslaboratorium der Trockenplattenfabrik J. Hauff in Feuerbach fand Dr. A. Burkhard im Scheiner-Sensitometer pro 1 mg extradünnes Magnesiumband den Wert von 390 (bis 398) S. M. K. für Bromsilbergelatine (1927). — H. Beck und J. Eggert geben (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1927, Bd. 24, S. 374, Fußnote) eine viel zu niedrige, unrichtige Zahl an.

2) Gelegentlich einer älteren Arbeit hatte Eder 1884 bei Benutzung eines mit Tusche-Gelatine hergestellten Warnerke-Sensitometers hinter Glas den photographischen Wert für 1 mg Magnesium = 228 H. K. S. gefunden (s. dieses Handbuch, 1884, Bd. 1, S. 154).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

gemischt mit Thoriumnitrat (Agfa-Blitzpulver) gibt nach Novak 300 000, mit Kaliumnitrat (wo mehr Licht durch Rauchentwicklung verschluckt wird) nur 150 000 H. K. S., d. i. 1 mg Magnesium umgerechnet 200 bzw. 150 H. K. S. Man muß bei dem Abbrennen solcher Blitzpulver die Gesamtenergie, die Maximalintensität, die totale Brenndauer und die praktische Brenndauer unterscheiden. Genügende Mengen von Magnesiumblitzpulver können die Intensität des Sonnenlichtes erreichen. Gemische mit Strontiumnitrat senden nebst dem Magnesiumlicht auch viel orangerote Strontium-Spektren aus, was bei farbentonrichtigen Aufnahmen von Wert ist.

Eder standardisierte das Magnesiumlicht auf Grund seiner Untersuchungen, die zeigten, daß man unter bestimmten Bedingungen bei Verwendung von dünnem Magnesiumband im Gewichte von 2 mg im Abstand von 3 m eine brauchbare weiße Lichteinheit für die Sensitomerie photographischer Platten erreichen kann; es wurden diese Versuche und Eichungen mit dem Eder-Hecht-Sensitometer bei Verwendung reiner Bromsilber-Gelatine-Platten benutzt[1]). Eine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit dieses Lichtstandards wurde erreicht, als an Stelle des früher gebräuchlichen 0,16 mm dicken und 2 mm breiten Magnesiumbandes die sehr dünnen Magnesiumfolien der Boehm-Werke in Berlin (nach dem patentierten Verfahren Wilhelm Boehms) in den Handel kamen und Eder sie für sensitometrische Zwecke im Jahre 1925 am Pariser Internat. Kongreß f. Photogr. im April 1925 empfahl[2]). Diese sind nur 0,07 mm dick, entzünden sich viel leichter und brennen (wenn sie auf eine Nadel aufgespießt werden) gleichmäßig ab, so daß hiermit die Standardisierung des Magnesiumlichtes verbessert wurde[3]).

Allerdings kann das Magnesiumlicht nur als sekundärer Standard gelten, denn die emittierte Lichtmenge hängt sehr von der Art des Anbrennens ab (Eder, Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 1903) und man muß, wenn man absolute Messungen von hoher Genauigkeit machen will, die Sensitometerproben 4—6mal wiederholen und dann den Mittelwert berechnen. Für vergleichende Proben mit Doppelsensitometern genügt allerdings eine Probe.

---

1) Eder, Ein neues Graukeilphotometer, Phot. Korr. 1919; als selbständige Broschüre 1920 bei W. Knapp in Halle. Es soll hier bemerkt werden, daß man auch die doppelte Menge Magnesium (4 mg) in entsprechend größerem Abstand verwenden kann, ja man erzielt hiermit sogar eine etwas höhere Konstanz der Lichtquelle.

2) S. Berichte dieses Kongresses 1926; Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1925, Bd. 23, S. 343; Phot. Industrie 1925, Heft 26.

3) Für technische Zwecke wird das Magnesiumband von den Boehmwerken lackiert; dieser Lack ist für sensitometrische Zwecke mit Azeton zu entfernen oder besser: nicht lackiertes Magnesium zu beziehen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

A. Spektrale Zusammensetzung des Magnesiumlichtes (Eder).

Das an der Luft verbrennende Magnesium gibt ein dem Tageslicht ähnliches, rein weißes Licht. Sein Spektrum ist nahezu kontinuierlich und nur im Grün treten einige Linien auf (Mg 518—516), sowie die kleine grüne MgO-Bande bei 500, die das Grün etwas erhellt, dann erscheint die blaue Mg-Linie 457, sowie die ultraviolette Liniengruppe bei 383 und 372, welche insgesamt nicht störend hervortreten [1]). In dieser Beziehung ist das Magnesiumlicht dem Kohlenbogen überlegen, der unter Umständen im Flammenbogen durch enorm starke Kohlenbanden im Beginn des Ultraviolett (Kante 388 und 359) und der schwächeren blauen Bande (Kante 421) stark diskontinuierlich wird. (Über Kohlenkrater s. S. 378.)

Das Spektrum des brennenden Magnesiums ändert sich bekanntlich im Sauerstoff oder in sauerstoffreichen Zündsätzen.

B. Praktische Verwendung des Magnesium als Lichtstandard.

Magnesiumband im Gewichte von 2 mg gibt beim Einhalten bestimmter Vorsichtsmaßregeln ein zur praktischen Plattenprüfung gut geeignetes Normallicht (s. S. 399).

Man spießt 2 mg Magnesiumband mit einer Stahlnadel am äußeren Ende auf und entzündet es am oberen Rande einer nicht leuchtenden kleinen Gasflamme im Abstande von 3 m vom Skalenphotometer (Sensitometer). Es muß sofort nach seiner Entzündung durch einen kleinen Ruck außerhalb des Flammenrandes gebracht werden, damit es bei vollem Luftzutritt (abseits der Verbrennungsgase des Bunsenbrenners) verbrennen kann. Hält man es zu lange in die Gasflamme, so verdampft ein Teil des Magnesiums unver-

---

1) Die geringe relative Helligkeits-Erhöhung im Grün ist merklich, aber praktisch nicht störend.

2) Das Spektrum des an der Luft und im Gemisch mit Nitraten brennenden Magnesium wurde von Eder in dem „Atlas typischer Spektren von Eder und Valenta", 3. Aufl. 1928, herausgegeben von der „Akademie der Wissenschaften in Wien" I, Universitätsplatz, heliographisch abgebildet und die Wellenlängenmessungen mitgeteilt. — Über die Magnesiumoxydbanden bei großer Dispersion s. Eder, Das Flammen- und Funkenspektrum des Magnesiums (Denkschriften der „Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien", April 1903; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, 1904, I, S. 50 und 410); ferner: Eder, Photometrische Untersuchungen der chemischen Helligkeit des brennenden Magnesium, Aluminium und Phosphor (Sitzungsberichte der Akad. d. Wissenschaften Wien, Mathem. naturwissensch. Klasse Abt. IIa, Bd. 112, April 1903; auch Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, 1904). — Über die Genauigkeit der Sensitometrie mit Magnesiumlicht s. Phot. Industr. 1926, Heft 24; Kinotechnik Juni 1926; Eder, Phot. Rundschau 1926.)

brannt (bei einiger Übung erlernt man die richtige Manipulation leicht) und man erhält zu niedrige Werte. Je dünner das Magnesiumband ist, desto leichter entzündet es sich, wodurch die Zuverlässigkeit des Normallichtes erhöht wird.

Extra dünnes Magnesiumband erzeugen die Boehm-Werke A.-G. in Berlin S 42, Luisenufer 11, in einer Dicke von zirka 0,07 mm. Diese Blättchen zu 2 mg sind länger und entzünden sich leichter. Man schneidet (unter Gewichtskontrolle) mit einer Schneidemaschine. Die Firma „Herlango" in Wien III bringt gewogene Stückchen Magnesiumband von 2 mg in Schächtelchen zu 100 Stück samt Nadel zum Aufspießen in den Handel.

2 mg Magnesium im Abstande von 3 m vor einem Skalenphotometer (Graukeil) abgebrannt, geben denselben photographischen Effekt wie eine Hefner-Amylazetatlampe auf eine Bromsilberplatte im Abstande von 1 m mit einer Belichtung von 1 Minute.

Die Brenndauer des kleinen Stückchens Magnesiumbandes beträgt nur wenige Sekunden; demzufolge nähern sich die Intensitätsfaktoren sehr denen des Tageslichtes und der starken Beleuchtung in den Kino-Ateliers. Die Messung der Empfindlichkeit photographischer Platten fällt bekanntlich genauer aus, wenn man die Sensitometerprobe unter ähnlichen Intensitätsverhältnissen, wie bei der praktischen Verwendung, prüft. Dies spricht zugunsten des Magnesiumlichtstandards.

Es ist sehr wichtig, das Magnesiumband auf einer spitzen Stahlnadel aufzuspießen (keine Pinzette) und die Nadel so zu halten, daß sie keinen Schatten auf die Platte wirft; geeignete Nadeln mit Fassung bringt die Firma Herlango in Wien, III in den Handel. — M. Canals u. R. Garriga benützten andauernd diesen Magnesium-Standard zur Kontrolle der photographischen Emulsions-Fabrikation und fanden die Gleichmäßigkeit des Lichtes befriedigend, wenn man einen Bunsenschen Gasbrenner benützt und das Magnesium in der halben Höhe der Flamme an der äußeren Zone entzündet und es nach der Entflammung ungefähr 3 cm von der Gasflamme entfernt. Verbrennt das Magnesium zu nahe nächst dem Flammenmantel, so erfolgen zu niedrige Lichtintensitäten, und das aufgespießte Magnesiumblättchen soll parallel der Sensitometer-Platte gehalten werden, und zwar gegenüber ihrer Mitte (Abstand 3 m vom Eder-Hecht-Sensitometer). El Progreso foto. 1926, Bd. 7, S. 308; Science et Ind. Phot. 1927, Bd. 7, Heft 1, S. 6.

Eine Weingeistflamme ist wegen ihrer geringeren Hitze weniger geeignet zum Entflammen des Magnesiums; man soll sie mit einem Schornstein versehen, so daß nur der obere Teil herausragt.

Gamble stellte am Municipal College of Technology in Manchester 1926 Versuche mit dem Magnesiumstandard an und erzielte gute Resultate; er legte die Nadel mit dem aufgespießten Magnesiumblättchen horizontal fix auf eine Unterlage

und entzündete es mit einer kleinen darunter gestellten nicht leuchtenden Flamme, die er nach dem ersten Augenblick des Entzündens rasch wegzog (Brit. Journ. Phot. 1926).

Will man genaue Werte mit Magnesiumlicht erzielen, so muß man die Probe 4 bis 6mal bei einer und derselben Plattensorte und völlig gleichartiger Entwicklung wiederholen[1]) und aus den so erhaltenen Sensitometerzahlen (Schwellenwert und benachbarte Stellen) das Mittel rechnen.

Man kann einen Vorrat von erprobten Normalplatten desselben Fabrikates vorrätig halten, nach genauer Empfindlichkeitsbestimmung mit anderen fraglichen Plattensorten relativ vergleichen, und findet dann mit einer einzigen Probe das Auslangen.

Wenn man den in der Praxis am häufigsten vorkommenden Fall ins Auge faßt: die relative Vergleichung zweier Sorten von Filmen usw., und zwei Plattenstreifen gleichzeitig in dem Eder-Hecht-Sensitometer mit doppelter Farbenskala belichtet, so ist man von eventuellen Schwankungen der Helligkeit des Magnesiumblättchens unabhängig und man erhält mit einer einzigen Sensitometeraufnahme ganz sichere Resultate. Auch die Konstruktion der charakteristischen Schwärzungskurve oder die außerordentlich einfache und sichere Prüfung des Belichtungsfaktors von Gelbscheiben oder dgl. ist bei dieser Versuchsanordnung unabhängig von kleinen Lichtschwankungen.

Beziehungen des Magnesiumlichtes zum Tageslicht und elektrischen Bogenlicht.

Wir haben bereits oben erwähnt, daß das Magnesiumlicht rein weiß ist, aber allerdings nicht völlig identisch mit allen Varianten des weißen Tageslichtes, oder dem weißen elektrischen Bogenlichte der Reinkohle ist; aber es ist konstanter als das Tageslicht und nähert sich dem Tageslichte und dem Bogenlichte mehr als andere Standardlichtquellen, ist in der Phototechnik leicht herzustellen und gibt gute Näherungswerte für die praktische Empfindlichkeit photographischer Platten.

Dies wurde bereits auf S. 335 und 355 ausführlich erörtert.

Über die Überführung des Magnesiumlichtes in die „Weiße" des Sonnenlichtes mittels geeigneter Filter s. Seite 346.

Wegen der Unverläßlichkeit des Tageslichtes müssen die Versuchsanstalten einen Näherungswert im konstanten Magnesiumlicht suchen, dessen Relationen einfach sind, aber gegenüber dem Tageslichte der Schätzung überlassen bleiben müssen, denn man

---

1) Auch bei der visuellen Photometrie pflegt man bei Helligkeitsbestimmungen von Lichtquellen etwa 10 Ablesungen hintereinander zu machen und dann das Mittel zu nehmen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

kann doch nicht spektralphotometrische Messungen des jeweiligen Tageslichtes vornehmen und die variablen Zahlenbefunde der Farbenverteilung mit Plattensorte und Lichtfiltern und Expositionszeit in Rechnung setzen, bevor man eine Landschaftsaufnahme macht. Der einigermaßen erfahrene Landschaftsphotograph wird die mit Magnesium ermittelte Charakteristik der Platte leicht mit der Art des Tageslichtes in Einklang bringen können.

Man erkennt daraus, daß sich zur Abschätzung der relativen Belichtungszeiten in der Dreifarbenphotographie der Magnesiumstandard genügend dem Kohlenbogenlicht annähert (vgl. S. 380 u. 350).

II. Elektrisches Bogenlicht als Standard.

Das offene elektrische Kohlenbogenlicht (Reinkohle) nähert sich von allen künstlichen Lichtquellen am meisten dem Sonnenlicht (vgl. die Farbtemperaturen S. 329) und von diesem Gesichtspunkte aus wäre es die beste photographische Normallichtquelle. Deshalb kam die Kommission der Royal Phot. Soc. of Great Britain (1925) zu dem Ergebnisse, den Kohlenbogen als Standard zu empfehlen, jedoch muß man den eigentlichen Flammbogen ausschalten, weil er ein diskontinuierliches Bandenspektrum gibt. (Phot. Journ. 1925, S. 53). Für diesen Zweck wurde als sehr gut geeignet der positive Krater (weißglühende Kohle) im sogenannten Forrest-Bogen befunden, wie ihn die Abbildung 126 zeigt. Zwei negative Kohlen neigen sich im Winkel von ca. 100 Grad gegen die positive Kohle. Die Stäbe von Reinkohle haben einen Durchmesser von 8 mm. Unter diesen Bedingungen ist die Helligkeit des Kraters gleichförmig über dem positiven Pol verbreitet und man kann eine definierte Kerzenstärke messen, wenn man vorne kleine Blenden von bekannten Dimensionen anbringt. Die Lichtintensität des Kraters ist in weitem Maße (zwischen 7 und 10 Ampère) unabhängig von der Stromstärke (Unterschied von Metallfaden-Glühlampen!). Es strahlt ein Quadratmillimeter des positiven Kraters 176 Kerzen bei Gleichstrom aus.

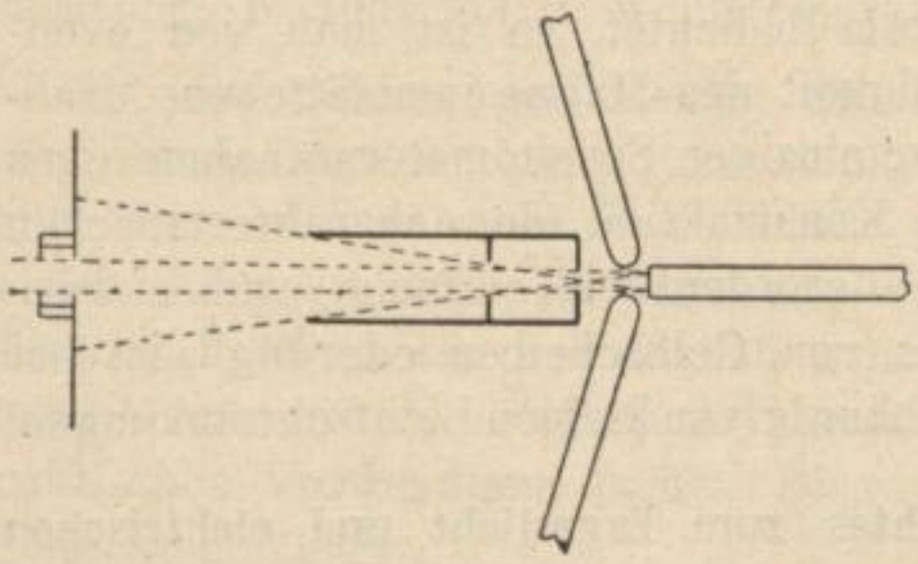


Abb. 126. Der Forrest-Kohlenbogen.

Ohne Zweifel ist das Kohlenbogenlicht (glühender Kohlenkrater) eine ideale Normallichtquelle von hoher Farbtemperatur und reiner Weiße, was namentlich bei den intensiven Lichtquellen für längere

Zeitdauer wertvoll ist. Auch kommt es dem mittleren Tageslicht näher als eine andere Normal-Lichtquelle, ist aber in der Phototechnik sehr schwer praktikabel zu machen und für den Photographen kaum verwendbar (vgl. S. 326, 329 und 347).

Deshalb hat man auf dem Pariser photographischen Kongreß 1925 wohl diese guten Eigenschaften des elektrischen Kohlenbogen-

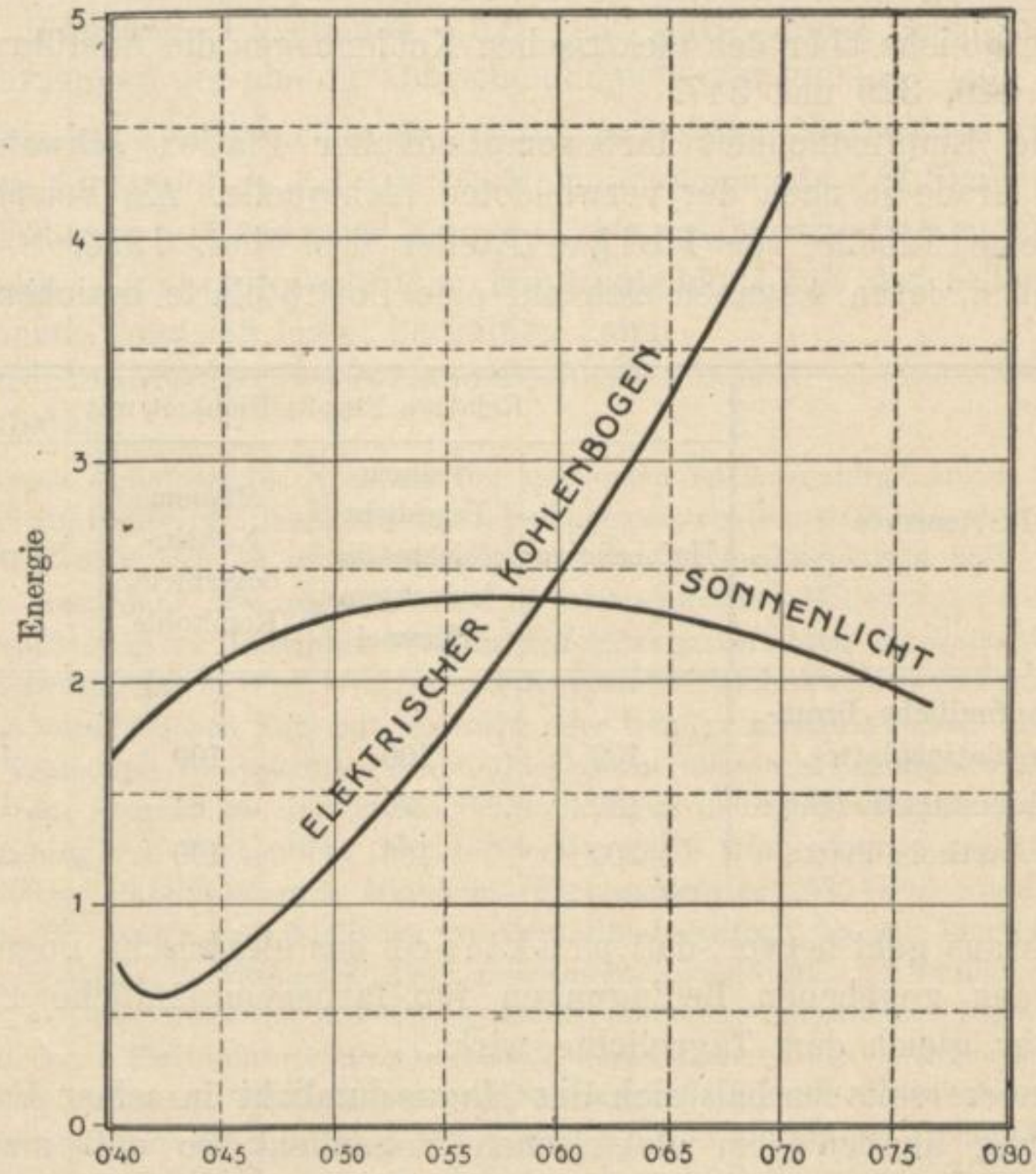


Abb. 127. Verteilung der Energie im Sonnenlicht und elektrischen Kohlenbogen im sichtbaren Spektrum (I v e s).

lichtes anerkannt, fand sich aber nicht veranlaßt, es als eine allgemeine Norm für die Plattenprüfung zu empfehlen. — Man ging zur Azetylen- und elektrischen Glühlampe über und suchte diese durch Verwendung von Blaufiltern dem Tageslicht ähnlich zu machen.

Über die Energieverteilung im Spektrum des elektrischen Kohlenbogens liegen zahlreiche Untersuchungen vor.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wenn wir uns auf das bei der Photometrie in Betracht kommende Spektrum der glühenden Kohle beschränken, so wird dieses durch die von Ives im Jahre 1910 veröffentlichten Kurven der Energie-Verteilung im sichtbaren Spektrum des Kohlenbogens ersichtlich gemacht; die Kurve verläuft beim Sonnenlicht flach, dagegen steigt sie beim Kohlenbogenlicht viel steiler von der geringeren Violett-Strahlung zur überwiegenden Energie im roten Spektralbezirke an.

Vergleiche über den elektrischen Kohlenbogen die Ausführungen auf S. 326, 329 und 347.

Die Empfindlichkeit farbenempfindlicher Platten schwankt in hohem Grade je nach der verwendeten Lichtquelle. Als Beispiel sei die kleine Tabelle von Foige (Atelier des Phot. 1926, S. 115) angeführt, deren Angaben sich auf eine Porträtplatte beziehen.

Plattensorte	Relative Empfindlichkeit mit			
	Hefnerkerze	weißem Tageslicht gleichmäßig bedecktem Himmel	offenem Kohlenbogenlicht (Reinkohle)	Nitralicht
Blauempfindliche Bromsilbergelatineplatte . .	100	100	100	100
Orthochromatische Platte	160	70	84	115
Panchromatische Platte	303	100	100	225

Daraus geht hervor, daß praktisch das elektrische Bogenlicht unter den gegebenen Bedingungen für farbenempfindliche Platten ungefähr gleich dem Tageslichte wirkt.

Andererseits verhält sich das Magnesiumlicht in seiner Farbenverteilung ähnlich dem elektrischen Bogenlicht, so daß man die Relation leicht überblicken kann (s. S. 350 und 357).

VI. Eichung der standardisierten Lichtquellen und der Sensitometer.

Die Eichung der Helligkeit der zu optischen Beleuchtungszwecken dienenden Lichtquellen erfolgt durch die bekannten optischen Photometrie-Methoden, bezogen auf die Hefnersche Amylazetatlampe oder die Internationale Kerze.

Man pflegt auch die photographisch verwendeten Normallichtquellen zunächst auf ihre visuelle „optische“ Helligkeit zu messen und in Meterkerzen auszudrücken.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Dann muß ihre relative Aktinität bestimmt werden, indem man beide Lichtquellen während gleicher Belichtungszeit auf ein und dieselbe Sorte von Trockenplatten wirken läßt und dann gleichartig entwickelt.

Man nimmt an, daß Lichtquellen in jenem Fall als photographisch gleich hell zu bezeichnen sind, wenn sie auf denselben photographischen Platten in gleicher Zeit und unter sonst gleichen Umständen (Art der Entwicklung usw.), gleiche Schwärzungen der photographischen Schicht erzeugen.

Die zur Sensitometrie des photographischen Negativmaterials benützten Lichtquellen und die Sensitometer-Apparate und Skalen pflegt man in bezug auf reinen Bromsilber gelatineplatten zu eichen [1]), wie man sie in mittelmäßiger Empfindlichkeit mit der Silbernitrat-ammoniak-Emulsion leicht herstellen kann.

Kontroll-Eichungen für andere Spektralbezirke können sich daran anschließen.

Diese Annahme der Konstanz der spektralen Farbenempfindlichkeit von „gereiften" Bromsilbergelatineplatten kann im allgemeinen als zutreffend gelten, namentlich wenn man sich an mittelempfindliche reine Bromsilberplatten hält. Es geht jedoch aus den spektrographischen Untersuchungen Eders, deren erste Veröffentlichung im Dezember 1884 in den Sitzungsberichten der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien erfolgte und die später vielfach erweitert wurden, hervor: daß die verschiedenen Formen des mehr oder weniger gereiften reinen Bromsilbers in der Verteilung der spektralen Empfindlichkeit in (allerdings beschränkten) Grenzen differieren; demzufolge sind kleine Schwankungen in der Sensitometeranzeige bei Verwendung von Sonnenlicht (Farbtemperatur 5000 Grad absolut) gegenüber dem elektrischen standardisierten Glühlicht (Farbtemperatur 2360 Grad absol.) zu erwarten. Dies wurde auch durch das amerikanische Komitee [3]) über die Lichteinheit für photographische Sensitometrie 1925 experimentell bestätigt. Es wurden von dem Komitee sechs Sorten von Bromsilbergelatine, die nach verschiedenen Methoden von verschiedenen Plattenfabrikanten hergestellt waren (nähere Angaben fehlen leider), auf ihre Empfindlichkeit mit zwei sehr verschiedenen Standardlichtquellen untersucht; diese hatten einerseits eine Farbtemperatur von 5000 Grad absolut (Sonnenlicht) und andererseits vom 2360 Grad (standardisierte elektrische Glühlampen. Wären die diversen Bromsilberplatten von identischer spektraler Farbenempfindlichkeit gewesen, so

---

1) Die Handelssorten der Porträt- und Landschaftsplatten enthalten stets etwas Jodsilber (ungefähr 3%) und zeigen eine etwas höhere Grünempfindlichkeit als reine Bromsilberplatten.

2) Von Eder empfohlen am Pariser Kongreß für Photographie, Juni 1925 (Zeitschrift f. wissensch. Phot. 1926; Phot. Ind. 1926, Heft 26.

3) Dem Komitee gehörten an: Crittenden, Raymond Davis u. K. S. Gibson vom Bureau of Standards. Hardy, L. A. Jones, Mees, Renwick u. Worthing. Dieses Komitee repräsentierte Amerika am 6. Photographischen Kongreß in Paris, 1925 (Journ. of the Optical Society of America. 1, 1926, S. 567).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Bromsilberplatten von identischer spektraler Farbenempfindlichkeit gewesen, so hätten die relativen Empfindlichkeiten in allen Fällen gleich sein müssen; in Wirklichkeit ließen sich aber in drei Fällen Abweichungen von 0, 2 und 6% nachweisen, in extremen Fällen sogar mehr Prozent der berechneten Plattenempfindlichkeit. — Es sind also für Bromsilbergelatine die Sensitometeranzeigen mit Lichtquellen von hoher Leuchttemperatur (wie Sonnenlicht) nicht genau proportional jenen mit niedriger Leuchttemperatur.

Diese Divergenzen sind für Zwecke genauer wissenschaftlicher Forschung wohl zu beachten. Aber für die Zwecke der praktischen Sensitometrie liegen diese Abweichungen unter der zulässigen Fehlergrenze.

Über die Farbempfindlichkeit von Bromsilbergelatine und die Herstellung von einer Normal-Emulsion s. Seite 232.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

NEUNZEHNTES KAPITEL.

ALLGEMEINE EINTEILUNG DER SENSITOMETER IN SOLCHE MIT INTENSITÄTS- ODER MIT ZEITSKALA UND MIT INTERMITTIERENDER BELICHTUNG. — SKALENWERT.

Man kann die photographischen Sensitometer (Empfindlichkeitsmesser) oder „Plattenprüfer“ in drei Klassen einteilen:

1. Sensitometer mit einer Intensitätsskala, wobei die wirkende Lichtintensität J variabel und die Belichtungszeit t konstant ist.
2. Sensitometer mit kontinuierlich wirkender Zeitskala, bei denen die Intensität J konstant und die Zeit t variabel ist.
3. Sensitometer mit intermittierender Zeitskala, bei denen die Intensität J konstant und die Belichtungszeit t variabel und intermittierend ist.

In der angewandten Photographie haben alle drei Arten dieser Sensitometer Anwendung zur Messung der Empfindlichkeit und Gradation photographischer Platten und Papiere gefunden und ebenso zur Messung der photographischen Wirkung verschiedener Lichtquellen (d. i. zur photographischen Photometrie).

Zu der ersten Klasse der Sensitometer (mit Intensitätsskalen) gehören die Papierskalenphotometer (s. I. Kapitel) mit gestaffeltem Seidenpapier (das in dickerer Schichtung durch Lichtzerstreuung ungenau ist), die Sensitometer mit stufenförmigen Skalen aus schwärzlich gefärbter Gelatine, wie das Sensitometer von Warnerke und der Plattenprüfer von Chapman Jones usw., ferner die Keil-Sensitometer, bei denen allmählich verlaufende und progressiv dichter werdende keilförmige Schichten von gefärbter Gelatine oder keilförmig geschwärzte photographische Schichten oder Keile von grauem Glas usw. verwendet werden; hierher gehört der von Stolze

erfundene und von Goldberg verbesserte „Graukeil“ mit der von Woodbury eingeführten schwärzlich gefärbten Tuschgelatine und die verschiedenen nach diesem Prinzip hergestellten Sensitometer, wie das Eder-Hecht'sche Graukeilsensitometer.

Skalenphotometer für Ultraviolett. Siemens u. Halske benützen eine versilberte Ultraviolett-Glasplatte zur Abhaltung des sichtbaren Lichtes und bringen darunter eine stufenförmig geschnittene Skala von Zelluloidstreifen an, welche (analog dem alten Vogelschen Papierskalenphotometer) eine Abstufung des durchgelassenen Lichtes gibt (D. R. P. Nr. 336 427 vom 18. Oktober 1919, ausgegeben 1921, sowie 336 428 vom 6. November 1919). —

Zu den Sensitometern mit Intensitätsskala gehören auch die „Röhren-Photometer“, bei denen ein System von nebeneinander stehenden Röhren vorliegt, die einerseits durch verschieden große oder verschieden zahlreiche Öffnungen erhellt sind, durch welche zerstreutes Licht eintritt und die andererseits auf einer photographischen Platte aufliegen, wobei die Helligkeit des wirkenden Lichtes proportional den Öffnungen ist.

Die Sensitometer mit Intensitätsskala haben für die Sensitometrie und photographische Photometrie wegen ihrer Bequemlichkeit und Übersichtlichkeit eine große Verbreitung gefunden.

Sie genügen für die Bedürfnisse der Phototechnik, geben genaue Resultate in den gebräuchlichen geringeren Lichtintensitäten der angewandten Photographie; jedoch sind die photographischen Skalenwerte der Intensitätsskala mehr oder weniger veränderlich bei großen Lichtintensitäten, was zu beachten ist und später näher beschrieben werden wird.

Die zweite Klasse, die Sensitometer mit Zeitskala und kontinuierlicher Beleuchtung, gibt günstige Resultate (vgl. I. Kapitel).

Für Zeitskalen gilt sowohl die Empfindlichkeit als auch die Gradation als annähernd unabhängig von der absoluten Lichtintensität in dem Produkte $J. t.$

Deshalb wurde in der Photographic Society of Great Britain gelegentlich des Internationalen Pariser Kongresses für Photographie 1925 vorgeschlagen (Phot. Industrie 1925, S. 678), die sensitometrischen Konstanten aus einer Zeitskala abzuleiten[1]); auch der Londoner Kongreß (1928) hielt daran fest.

---

1) Demgegenüber sprach sich daselbst Odencrants (Paris 1925) gegen die Verwendung der Zeitskala bei Plattenprüfungen aus und empfahl die handlichen Intensitätsskalen, was für die praktische Sensitometrie tatsächlich zutreffend erscheint (Eder).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Doch darf auch die Zeitskala nicht allgemein als streng invariant bei starker Beleuchtungsintensität bezeichnet werden; neuere Untersuchungen haben dies, allerdings bei abnorm großen Lichtintensitäten, gezeigt (L. A. Jones, Kodak Abridged Scientific Publications, Bd. X, 1926, S. 18).

Jedenfalls haben die mit Zeitskalen erhaltenen Schwärzungskurven beim Ansteigen von sehr kleinen bis zu sehr großen Expositionen einen regelmäßigeren Gang als die mit Intensitätsskalen hergestellten. Es war schon Abney (Phot. Journ. 1893 bis 1894) und Schwarzschild (1900) aufgefallen, daß Schwärzungskurven, die mit irgend einer Belichtungsskala erhalten sind, denjenigen mit einem Vielfachen dieser Skala erhaltenen Kurven parallel zu sein schienen und somit die Gradation einer Zeitskala innerhalb gewisser Grenzen unabhängig von der Intensität der Lichtquelle, mit der sie hergestellt wurde, auftrat.

Der Unterschied der zwischen Zeit- und Intensitätsskalen erhaltenen sensitometrischen Ergebnissen ist bei geringen Lichtintensitäten gering, aber um so größer, je mehr die betreffenden Emulsionen unter den Versuchsbedingungen von dem Bunsen und Roscoëschen Reziprozitätsgesetz abweichen.

In den Betrieben der photographischen Industrie haben sie sich wegen Schwierigkeiten der exakten Herstellung der Zeitmessung und Handhabung nicht eingebürgert.

Die Sensitometer der dritten Klasse mit intermittierender Zeitskala haben zur Empfindlichkeitsbestimmung von photographischen Platten große Verbreitung gefunden. — Sie beruhen auf der Verwendung einer rotierenden Scheibe, in welcher Öffnungen von bestimmten Winkel-Dimensionen eingeschnitten sind, rasch rotieren und so die zu prüfende photographische Platte in gewissen Unterbrechungen verschieden lang (mit konstanter Lichtintensität) belichten (s. I. Kapitel). — Eines solchen Apparates bedienten sich Hurter und Driffield (s. S. 8). — Eine neuere bessere Form stellt das vielfach zur Empfindlichkeitsbestimmung verwendete Scheiner-Sensitometer (s. d.) dar, das wesentlich genauere Angaben liefert. — Diese Art von Sensitometern, die mit direkt einstrahlendem Licht einer Normalkerze verwendet wird, gibt sehr befriedigende, unter sich gut vergleichbare Resultate bei der technischen Plattenprüfung. — Es ist jedoch zu bemerken, daß das Intermittieren der Belichtung gewisse Abweichungen gegenüber der

kontinuierlichen Belichtung mit sich bringt; über die Intermittierungsgesetze s. XI. Kapitel.

Die Differenz zwischen der durch intermittierende und kontinuierliche Belichtung hervorgerufenen Schwärzung kann positiv und negativ sein, je nachdem der Intensitätsfaktor J bei der Belichtung größer oder kleiner als die optimale Intensität J_0 im Sinne Krons des jeweilig verwandten photographischen Materials ist, was Raymond Davis nachwies (Bureau of Standards, Washington, Scientific Papers Nr. 528. 1926. — Referat von Weinland, Kinotechnik. 1928. S. 221 und 384). Deshalb sind Intermittierungsskalen für genaue photometrische Untersuchungen wenig geeignet, sondern es ist die kontinuierliche Belichtung vorzuziehen. — In den beschränkten Helligkeitsdifferenzen des Scheinerschen Sensitometers liefert jedoch die Intermittierung mit rotierenden Scheiben recht gute Resultate, die für die phototechnische Plattenprüfung vollauf genügt.

Zusammenfassung.

Die Anzeigen der drei genannten Sensitometertypen sind gegeneinander nicht völlig gleichartig, selbst wenn die Plattensorte und die Entwicklungsweise identisch sind. Im allgemeinen zeigen die Sensitometer mit Zeitskala bei starken Belichtungsintervallen einen etwas regelmäßigeren Gang als die Instrumente mit Intensitätsskala.

Die Sensitometerarten mit Zeitskala und andererseits die mit Intensitätsskala geben aber nichts destoweniger bei den praktischen Prüfungen der Empfindlichkeit von Bromsilber-Gelatineplatten ziemlich ähnliche Resultate. Es zeigen die Empfindlichkeitsmessungen von Bromsilbergelatineplatten, deren Schwarzschildscher Exponent größer als $p = 0{,}9$ bis 1 ist, keine praktisch bemerkenswerten Differenzen, je nachdem man die Belichtung mit Variationen der Zeit oder der Intensität vornimmt.

S. O. Rawling schlug mit Recht am Photogr. Kongreß in Paris 1925 (Phot. Ind. 1925, S. 953), folgenden Weg bei der sensitometrischen Plattenprüfung vor: Um die Ergebnisse der sensitometrischen Prüfungen, die nach einer Zeit- oder Intensitätsskala ausgeführt wurden, vergleichen zu können, sollten nicht nur die Lichtmengen ($J \cdot t$.), sondern auch die Zeit- und Intensitätsfaktoren angegeben werden. — Er erwähnt aber auch mit Recht, daß für technische Zwecke, wo die zulässige Fehlerweite ziemlich groß ist, diese Angabe nicht erforderlich erscheint.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1. Kontinuierliche und stufenförmige Schwärzungs-Skalen. Bestimmung des Skalenwertes.

Die Schwärzungsskalen, die man mit den verschiedenen Sensitometern erhält, verlaufen entweder kontinuierlich ohne jede Unterbrechung, oder aber es werden z. B.: beim Graukeil Skalenquerstriche einkopiert, um den Abstand vom Nullpunkt der Skala leicht finden zu können und beim Ablesen des Schwellenwertes neben den Stellen der beginnenden Schwärzung auch benachbarte lichtlose Stellen vor sich zu haben, was (wie Eder zeigte) das Ablesen des Schwellenwertes sehr erleichtert.

Solche kontinuierliche Schwärzungsskalen liefert z. B. die ältere Form des Scheiner-Sensitometers mit kontinuierlich gekrümmtem Kurvenausschnitt, ferner die üblichen Graukeile ohne Skala.

Die stufenförmig aufgebauten Schwärzungsskalen, deren Type durch die Anwendung der staffelförmigen Papierskalenphotometer charakterisiert ist, können auch mit rotierenden Scheiben bei gestuftem Kurvenausschnitt erzielt werden (s. Kap. I; Sensitometer von Scheiner), ferner beim Röhren-Photometer usw. Der Sprung des Schwärzungseffektes von einer Stufe zur anderen beeinflußt die Genauigkeit der Sensitometerablesung. — Unter allen Umständen sind darauf bezughabend die numerischen Skalenwerte der Sensitometer festzustellen.

Hier sind auch die Normalfarben-Photometer zu erwähnen, die im I. Bd. 3. Teil, 3. Aufl. 1912 beschrieben sind.

Bei Sensitometern mit einfacher Zeitskala entsprechen die Skalengrade (Skalenwerte) der Belichtungszeit. Bei rotierenden Sektorenscheiben ist die Größe des Winkelgrades der Sektoren maßgebend; bei Graukeilen die Extinktion des Lichtes mit zunehmender Dichte, wobei man die Dichtezunahme der Skala pro 1 cm als Skalenkonstante zu bezeichnen pflegt.

Bei Graukeilen nennt man die „Skalenkonstante“ kurzweg die „Keilkonstante“, d. i. gleichfalls die Dichtezunahme pro 1 cm der Länge. Man bestimmt sie optisch oder besser auf photographischem Weg.

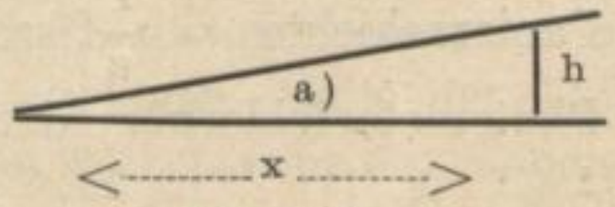


Abb. 128.

Die Keilkonstante läßt sich genauer folgendermaßen definieren: Unter Voraussetzung, daß die Schwärzung der Gelatine des Graukeiles an allen Stellen dieselbe ist, hängt die Lichtabsorption nur von der Keildicke (h), d. i. also damit im Zusammenhang von x ab (Abb. 128).

Die Lichtschwächung ist gegeben durch

$$I = I_0 \cdot e^{-s \cdot h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

worin e die Basis der natürlichen Logarithmen und I und I_0 die Intensität vom einfallenden und durchfallenden Licht ist.

Oder, weil $h = x \cdot \operatorname{tg} a$ ist:

$$I = I_0 \cdot e^{-s \cdot \operatorname{tg} a \cdot x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Es ist $s \cdot \operatorname{tg} a$ = Keilkonstante, wobei a der Keilwinkel, s die prozentuale Lichtschwächung der verwendeten Graugelatine für die Dicke = 1 ist.

Es ist somit

$$I = I_0 \cdot e^{-k x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Demnach ist die Keilkonstante (k) definiert durch die Gleichung

$\frac{1}{x} \lg \frac{I_0}{I} = k$ (Logarithmierung von Gleichung 3). Wenn mit Briggschen Logarithmen gerechnet wird, enthält k noch $\log_{10} e$.

Die Keilkonstante der Graukeile ist für technische Plattenprüfung in den verschiedenen Spektralzonen des sichtbaren Spektrums genügend konstant, weist aber bei genauer Untersuchung der selektiven spektralen Transmission Schwankungen auf, die namentlich im Ultraviolett eine Steigerung der Konstante mit sich bringen, was in der Natur der gefärbten Gelatine und der stark steigenden Ultraviolettabsorption liegt.

Für streng wissenschaftliche Präzisionsmessungen sind die Keilkonstanten für die verschiedenen Wellenlängen von Fall zu Fall zu bestimmen.

2. Skalenwert der Sensitometer.

Die Belichtung der photographischen Platten in den Sensitometern (Photometern) erfolgt in einer gegebenen Progression. Fast immer wählt man eine geometrische Progression (selten eine arithmetische), die am einfachsten im Papierskalen-Photometer Vogels durch Übereinanderlegen von staffelförmig angeordneten Seidenpapierstreifen oder dergleichen zustande kommt. Um die Skalenwerte berechnen zu können, muß man die Lichtschwächung in einer Papierschichte (Extinktion) kennen; es sei diese Lichtschwäche des mit der Intensität 1 einfallenden Lichtes nach dem Durchgange von einer Papierschichte $= \frac{1}{n}$, so ist die geometrische Progression in den Photometerfeldern in der 1, 2, 3, 4, und $n$ten Schicht

$$\frac{1}{n}, \frac{1}{n^2}, \frac{1}{n^3}, \frac{1}{n^4} \ldots \frac{1}{n}$$

So z. B. ist der Skalenwert $n = 1{,}27$ bei dem Vogelschen Papierphotometer, d. h. es werden Empfindlichkeitsunterschiede von

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Skalengrad zu Skalengrad im Verhältnisse von 1:1,27 angezeigt, ebenso beim Scheiner-Sensitometer. — Hurter und Driffield hatten für ihre Sektorensensitometer $n = 2$ gesetzt, was einem starken Sprung im Werte der Sensitometergrade (d. i. geringere Genauigkeit) ergibt. Andere (wie Chapman Jones) wählen $n = 1{,}5$. — Eder wählt für sein Eder-Hecht-Sensitometer (mit der Keilkonstante 0,40) den Skalenwert $n = 1{,}203$, und zur Erzielung größerer Genauigkeit; noch weiter wird die Genauigkeit mit der Keilkonstante 0,305 gesteigert, wo $n = 1:1{,}157$ wird, für besondere Zwecke dient der Skalenwert: $n = 1{,}091$ (s. Kap. XX).

Die Lichtintensitäten in den einzelnen aufeinanderfolgenden Feldern der Skalenphotometer (Papierskalen, Keile) bilden eine geometrische Reihe, in deren Glieder die Zahlen der terassenförmigen Schichten die Potenzexponenten sind. Um die Konstante eines derartigen Skalenphotometers zu bestimmen, belichtet man Bromsilbergelatineplatten bei völlig konstantem Licht (z. B. Hefnerkerze) bei verschiedenem Abstand, so daß man die bei den Versuchen wirkenden Lichtintensitäten J und i genau kennt; dann entwickelt man gleichzeitig und liest die Schwellenwerte und benachbarten Stellen ab und findet so die Felder gleichen photographischen Effektes. Nehmen wir an: bei der stärkeren Intensität J wirkt das Licht durch m Schichten (Grade des Skalenphotometers) z. B. von Seidenpapier, bei der schwächeren Intensität i aber nur durch n-Schichten (Grade des Skalenphotometers), so findet man die Photometerkonstante c

$$\text{nach der Gleichung } c = \sqrt[m-n]{\frac{J}{i}}$$

Hiernach berechnet man als Näherungswert die progressiven Skalenwerte c, c^2, c^3 . . . ., für genauere Arbeiten setzt man den Schwarzschildchen Exponenten p in die Rechnung ein. Vergleicht man Felder mittlerer Dichte, so muß auch das variable Gamma berücksichtigt werden.

Bei Papierskalenphotometern sind die dichten Stellen durch sehr große Lichtzerstreuung ungenau, was bei Skalenphotometern, die mit feinster Tusche gefärbt sind, in sehr geringem Maße der Fall ist. Es ist ferner zu bemerken, daß auch die Transparenz der Seidenpapierskalen im Ultraviolett zu stark abfällt, so daß die Absorptionskonstante für Chlorsilberpapier für eine Metallfadenlampe 1,36 ist, für elektrischen Kohlenbogen 1,48 und für die Quecksilberdampflampe

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1,74. (Paul Schrott, Zeitschr. f. wissenschaftliche Photographie 1909, Bd. 8, S. 25; Eders Jahrbuch für Photographie 1910, S. 114.)

Auch für mit Tusche gefärbte Gelatineschichten steigt in ähnlichem Sinne im Ultraviolett die Undurchsichtigkeit und es wächst die Keilkonstante beträchtlich gegenüber jener im Blau (Bezirk der Bromsilbermaximal-Empfindlichkeit), welche letztere allerdings dominierend in die Erscheinung tritt.

Für genaue wissenschaftliche Arbeiten sind derartige Sensitometer mit absorbierenden Skalen für engere Spektralgebiete zu eichen, welche Arbeit bei Sensitometern mit frei einstrahlendem Lichte (Zeitskala, rotierende Scheiben) oder gleichartig zerstreutem Lichte (Röhrenphotometer mit opaken Gläsern, reflektierenden weißen Flächen) entfällt.

Jedenfalls sind jene Sensitometerarten, bei denen direkt einfallendes Normallicht unmittelbar zur Geltung kommt, am exaktesten und frei von Fehler der spektralen Entmischung des einfallenden Lichtes.

3. Berücksichtigung der Farbenempfindlichkeit.

Die verschiedenen Arten der Sensitometer, deren Einteilung oben beschrieben wurde, dienen zur Bestimmung der Empfindlichkeit und Gradation photographischer Platten und sollen auch ein Urteil über deren Farbenempfindlichkeit ermöglichen.

Man prüft die verschiedenen photographischen Platten- und Kopierpapiere bei einer der Normallichtquellen und stellt die verschiedene Empfindlichkeit und Gradation der photographischen Schicht gegenüber der gewählten Einheitslichtquelle fest (siehe Kapitel XV und XVII).

Dieselben Apparate können auch zur Messung der Lichtintensität verschiedener Lichtquellen (zur Photometrie) dienen, wobei man eine bestimmte photographische Schichte konstant beibehält und die verschiedenen Lichtarten darauf einwirken läßt; der Arbeitsvorgang für beide Arten der Messung ist grundsätzlich derselbe.

Wie erwähnt bewirken die verschiedenen Normallichtquellen (Kerzenlicht, Amylazetatlampe, das Pentan- und Azetylenlicht, die elektrische Glühlampe in ihren verschiedenen Arten, das Magnesiumlicht usw.) große Schwankungen in den Sensitometeranzeigen farbenempfindlicher Platten zufolge ihrer variablen spektralen Strahlenmischung; demzufolge erscheinen auch die Werte der Farbenempfindlichkeit für die in der Praxis gebräuchlichen photographischen

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Materialien je nach der verwendeten Lichtquelle sehr variabel. Deshalb empfiehlt es sich, alle Sensitometer-Angaben auf mittleres Sonnenlicht (Farbtemperatur 5000° absol.) zu beziehen (s. Kap. XV). Die spektrale Verteilung der Empfindlichkeit für die drei wichtigsten photographischen Plattenfabrikate der neuzeitlichen Photographie ist bekannt. Die gewöhnliche Bromsilbergelatineplatte ist als blauempfindlich zu bezeichnen, die orthochromatische Platte (Eosin, Erythrosinplatte) als blau- und grüngelb-empfindlich, die panchromatische Platte als blau-, grün-, gelb- und rotempfindlich (s. Seite 231 und 235).

4. Visuelle und photographische Helligkeit.

Der verschiedene Gang der visuellen Helligkeit des Lichtes verschiedener Wellenlänge für das menschliche Auge und andererseits der „photographischen Helligkeit“ auf die verschiedenen photographischen Platten ist bekannt. — Es sei erwähnt, daß die visuelle Helligkeitsempfindung in grober Annäherung mit der Lichtwirkung auf orthochromatische Bromsilbergelatineplatten (Erythrosin) mit Gelbscheibe parallel läuft, ebenso die auf Kopierpapier mit Pinaflavol und Chlorsilber und man macht davon in der Photometrie Gebrauch.

Es ist einleuchtend, daß beim Lichte einer Kerze (Walratkerze, Amylazetatlicht, Benzinlicht), das sehr reich an gelben und roten und arm an blauvioletten Strahlen ist, eine orthochromatische oder panchromatische Platte eine höhere photographische Empfindlichkeit aufweisen wird als eine lediglich blauempfindliche gewöhnliche Bromsilberplatte. Je reicher eine Lichtquelle an blauen Strahlen ist, desto mehr wird die Empfindlichkeit der blauempfindlichen Platte hervortreten. Demzufolge wird eine orthochromatische Platte bei Kerzenlicht viel empfindlicher erscheinen als bei Sonnen-, Magnesium- und elektrischem Bogenlicht, während bei einer nur blauempfindlichen Platte das Gegenteil der Fall sein wird.

5. Zusammenfassung.

Im nachstehenden sollen die wichtigsten Sensitometer entsprechend ihrer auf Seite 382 angegebenen Einteilung beschrieben werden.

Am gebräuchlichsten in der Phototechnik sind die Skalenphotometer mit Intensitätsskala, welche in der photographischen Praxis meistens mit dem Namen Skalenphotometer bezeichnet werden; in diese Gruppe gehören auch die Röhrenphotometer. — Sehr ver-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

breitet in der Fabrikation und im Handel sind die Sensitometerangaben mit intermittierender Zeitskala (Scheiner-Sensitometer) und die mit Graukeilen und einkopierten Skalengraden, während die Sensitometer mit kontinuierlicher Zeitskala theoretisch richtig sind, aber praktisch wenig verwendet werden. — Die Sensitometer mit Normalfarben, bei welchem gleichfalls die Belichtungszeit verändert wird, wurden bereits im ersten Bande, III. Teil dieses Werkes (III. Auflage 1912) besprochen.

ZWANZIGSTES KAPITEL.

GEBRÄUCHLICHE ARTEN DER SENSITOMETER.

I. Sensitometer mit Intensitätsskalen.

A. Ältere Skalen-Photometer.

In der angewandten Photographie und der damit zusammenhängenden Photometrie, sowie zur Prüfung der Empfindlichkeit photographischer Platten (Sensitometrie) spielen die Skalenphotometer mit Intensitätsskalen eine wichtige Rolle. Auch als photographische Kopierphotometer sind sie für den Pigmentdruck, Gummidruck, Lichtdruck usw. unentbehrlich.

Man machte in der Photographie den Anfang mit dem alten System des Papierskalenphotometers (Seidenpapier), s. I. Kapitel. Preßt man solche Papierskalen mit Hilfe hydraulischer Pressen in Blei ab, füllt die so entstandene Hohlform mit transparenter Gelatinefarbe und überträgt sie auf Glas, so entsteht die Skala des gänzlich veralteten Warnerke-Sensitometers, das im I. Kapitel erwähnt wurde, ebenso wie die auf ähnlicher Grundlage beruhenden „Plattenprüfer“ von Chapman Jones.

B. Keil-Photometer-, Stolze-Goldbergs Graukeil mit Tusche-Gelatine, Eder-Hechts Graukeil-Sensitometer mit Farbskalen.

Graue, im Glasflusse gefärbte Gläser („Rauchgläser“) werden als abschattierte Abdämpfungsmittel in der Photometrie seit Jahrzehnten verwendet, da man annimmt, daß sie alle Strahlen des Spektrums gleichmäßig absorbieren, was allerdings nicht genau zutrifft[1]).

Auch verwendete man schon im vorigen Jahrhundert Keile aus gelbem Glas zur Konstruktion von Kopierphotometern (Fleury Hermagis, 1876). Blaue Keilprismen für „optische Belichtungsmesser“, Heydes „Aktinophotometer“ (1905) oder Flüssigkeitsfilter

---

1) H. Lux, Spektrophotometrische Messungen von Rauchgläsern, Zeitschr. f. Beleuchtungswesen, 1917; Phot. Korresp. 1917, S. 381; 1922, S. 23.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

in keilförmigen Glaswannen usw. werden auch verwendet. Auf photographischem Wege hergestellte graue „Keile“ von fein zerteiltem Silber in entwickelten Kollodium- oder Bromsilbergelatine-Platten finden in der Photometrie Verwendung, z. B. in Hartmanns Mikrophotometer. — E. S. King untersuchte die Absorption solcher photographischer Silberkeile (Bromsilbergelatine mit Entwicklung) auf ihre Eignung zur Photometrie der Sterne[1]).

Photographische Schichten aus fein verteiltem Silber absorbieren das farbige Spektrum gleichmäßig, zeigen aber im Ultraviolett bei 320 bis 310 $\mu\mu$ eine ziemlich stark transparente Stelle, die aber nach dem Verstärken mit Quecksilber verschwindet (Buisson und Fabry, 1925). — Abney machte ein Silbernegativ durch Verstärken mit Platinchlorid gleichmäßig absorbierend. (Phot. News. 1876, S. 909.) Leon Warnerke versuchte gegen Ende des 19. Jahrhunderts Keile mit Lampenschwarz in Gelatine und legte solche in der Londoner Photographischen Gesellschaft vor (Sanger Sheppard, Phot. Journ. 1911, Bd. 51, S. 422).

1. Der Stolze-Goldberg'sche Gelatinegraukeil.

Die Verwendung des Keiles mit grau gefärbter Tuschegelatine, kurzweg „Gelatinegraukeil“ genannt, hat sich in der Sensitometrie und Photometrie sehr bewährt. — Diese Art des Graukeiles wurde von F. Stolze im Jahre 1883 erfunden und fand zufolge einer geschickten Variante der Herstellungsart durch E. Goldberg in den letzten Jahren große Verbreitung (s. Kap. I).

Es wäre aber ein Unrecht, den wahren Erfinder des mittels Tuschegelatine hergestellten Graukeils in Vergessenheit kommen zu lassen, und deshalb schildert Eder die Arbeiten F. Stolzes (Eder, Phot. Indust. 1927, Heft 11):

F. Stolze, der sich vor mehr als 40 Jahren mit den Problemen der Sensitometrie befaßte, gab in dem von ihm redigierten „Photographischen Wochenblatt“ im Jahre 1883, Seite 17, eine neue Methode zur Bestimmung der Empfindlichkeit und Gradation photographischer Platten an[2]). Er ging von der Ansicht aus, daß

1) E. S. King fand, daß die Lichtabsorption eines photographischen Silberniederschlages sehr stark mit dem Abstand der Lichtquelle zusammenhängt (starke Lichtzerstreuung an den Silberkörnchen), während dies bei Rauchglas nicht der Fall ist (Eders Jahrbuch f. Phot. 1904, S. 401).

2) Dieser Anteil Stolzes an der Erfindung des Gelatine-Graukeiles und der Einführung der Gradations-Skalen war in der zweiten Auflage von Eders „Ausführlichem Handbuch der Photographie“ I. 1891. S. 305 sehr eingehend geschildert worden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

alle bisherigen Sensitometer — er hatte das damalige Warnerke-Sensitometer im Auge —, welche sich auf die Beurteilung der Empfindlichkeit einer Platte nach dem Schwellenwerte beschränken, keinen wahren Maßstab für die faktische Empfindlichkeit und auch nicht für die Beurteilung der Qualität einer photographischen Platte (ob hart oder weich) geben. — Er zeigte dies an Schwärzungskurven in folgender Weise:

Stolze trug in einem Koordinatennetz die Lichtintensität auf der Abszissenachse auf, während die Ordinaten die dazugehörigen Schwärzungen repräsentierten. Er zeigte an den Kurven den idealen Verlauf der photographischen Lichtwirkung in geradlinigem proportionalen Anstieg und besprach die experimentell gefundenen Abweichungen von dieser Norm bei weich und hart arbeitenden Platten. — „Gibt die Kurve der Schwärzung die schwächsten Lichter übermäßig schwach wieder, während die hellsten Lichter in der Photographie stärker auftreten als in Wirklichkeit, so würde eine solche Emulsion brillant, dabei aber hart arbeiten," sagt Stolze. In ähnlich anschaulicher Weise erörtert er die Kurven, welche detailreiche Schatten mit Monotonie der Lichter geben.

Es soll hierbei nicht übersehen werden, daß Stolze in sein Koordinatennetz die Lichtintensitäten und Undurchsichtigkeiten unmittelbar eintrug, während man heute allgemein die Logarithmen dieser Größen zur graphischen Darstellung benützt, was zu viel übersichtlicheren Darstellungen führt; aber Stolze hat im Prinzip vollständig die Bedeutung der sogenannten „Schwärzungskurven" erkannt. Auch zeigte er die Herstellung von Schwärzungskurven mit Bezug auf die Wirkung des farbigen Spektral-Lichtes, indem er in sein Koordinatennetz die Wellenlängen des wirkenden Lichtes und andererseits die entsprechenden Undurchsichtigkeiten eintrug.

Auch schlug er vor, an Stelle des Schwellenwertes einen Mittelton zu setzen, um aus diesem die Empfindlichkeit zu bestimmen, ein Vorschlag, auf den man später wieder zurückkam.

Auf diesem Wege kam Stolze zur Erfindung des Gelatine-Graukeiles.

F. Stolze beschrieb das von ihm zur Herstellung des Graukeiles angewendete Verfahren ganz genau: Zunächst bereitete er sich „eine kontinuierliche Tonskala, die alle Schattierungen vom tiefsten Schwarz bis zur völligen Durchsichtigkeit zeigt". Er erreichte dies dadurch, daß er auf eine schief gestellte (unten mit Papier trogartig eingeränderte) Spiegelglasplatte eine mit Tusche gefärbte Gelatine aufgoß, die dann keilförmig erstarrte. — Nach dem Trocknen der Schicht schnitt er aus der Glasplatte zwei vollständig identische Skalen heraus. Die graue Tusche-Gelatine stellte er mittels fein geriebener chinesischer Tusche unter Zusatz von Alaun als Gerbemittel und weiterem Zusatz von Zucker und Essigsäure (behufs Verflüssigung der Gelatine und besserer Gießfähigkeit) her. Die abgeschnittenen Streifen dieses auf Glas befindlichen Gelatine-Graukeiles überzog

er mit Kollodium, um sie gegen den Einfluß der Feuchtigkeit zu schützen. Stolze gab auch genau das Verfahren zur Bestimmung des Skalenwertes für die verschiedenen Abstände von ihrem Nullpunkt an; er verbrannte in bestimmter Distanz verschiedene genau bekannte Mengen von „Magnesiumdraht" und maß den Abstand vom Nullpunkt des Graukeiles dort, wo dieselbe Lichtwirkung (Schwärzung) stattgefunden hatte, kurz gesagt: er schlug dabei denselben Weg ein, den man auch heute bei der Bestimmung des Skalenwertes eines Graukeiles für die Berechnung der dazugehörigen Tabellen einhält.

Stolze empfahl als das für sein Graukeil-Sensitometer einfachste Verfahren die Verwendung von Magnesiumlicht, wozu allerdings der Draht wenig geeignet ist; andererseits nahm er vergleichende Proben bei Tageslicht hinter seinem Graukeil vor.

Allerdings unterließ Stolze die Normalisierung der Lichtquellen und die seiner Keile, aber dies tut seinen Prioritäts-Ansprüchen keinen Eintrag.

Dieser Erfindung des Graukeiles durch Stolze im Jahre 1883 gab E. Goldberg (1911) eine verbesserte Herstellungsform, die alle Anerkennung verdient und die als andere Art der Ausführung der Stolzeschen Erfindung zu werten ist.

Die verbesserte Ausführungs-Variante der Stolzeschen Gelatine-Graukeile durch E. Goldberg ist u. a. in Eders „Jahrbuch der Photographie" 1911, S. 146, genau beschrieben.

Die Erfindung der mit Tusche gefärbten Gelatine-Graukeile durch Stolze und ihre sehr verbesserte Herstellungsart durch Goldberg (der auch fein verteiltes Silber im Gelatine-Graukeil verwendete), brachten einen großen Fortschritt in der Erzeugung von Photometer-Skalen mit sich und veranlaßten die Konstruktion von verschiedenen Arten von Sensitometern. — A. Hübl ersetzte 1918 den festen Tusch Stolzes und Goldbergs durch flüssigen Tusch mit einem korrigierenden Farbstoff-Zusatz, um ein neutrales Grau zu erhalten; dies fand später allgemeine Verwendung [1]).

---

1) E. Goldberg, „Die Herstellung neutral grauer Keile und verlaufender Filter für Photometrie und Photographie" (Eders Jahrb. f. Phot. 1911, S. 149; Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1912, S. 238; Phot. Korresp. 1917, S. 82). A. Hübl, „Die Bestimmung d. farbenempfindlichen phot. Platten", Phot. Korresp. 1918, S. 379, 1919, S. 363). — W. Hecht, „Das Graukeil-Photometer im Dienste der Pflanzenkultur" (Sitzber. Akad. d. Wissensch. in Wien, November 1918, Phot. Korresp. 1919, S. 244). — J. M. Eder, „Ein neues Graukeil-Sensitometer für Sensitometrie, photographische Kopierverfahren und Lichtmessungen" (Phot. Korresp. Septemberheft 1919; Mitteilungen des österr. techn. Versuchsamtes in Wien 1919, Nr. 4 und in selbständiger Broschüre 1920, Verlag von W. Knapp in Halle a. S. — Auszug: Eder, „Rezepte, Tabellen u. Arbeitsvorschriften für Photogr.", 12. Aufl. 1927). — Wentzel, „Die photogr.-chem. Industrie 1926" (Dresden, Steinkopff). — Odencrants, Zeitschrift f. wiss. Phot. 1916 (Bd. 16) und 1919 (Bd. 18). — Weitere Literatur siehe Goldberg, „Der Aufbau des photographischen Bildes" 1922 (Halle, W. Knapp). — E. Goldberg wollte für sich allein die Erfindung des Gelatine-Graukeiles in Anspruch nehmen, was Eder in seinen Ausführungen über die „Geschichte des Graukeiles in seiner Anwendung in der Sensitometrie photographischer Platten" (Phot. Industrie 1927, Heft 11 und 18) in einer eingehend begründeten Polemik zurückwies.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die „Ica A.-G." in Dresden bringt auch bogenförmig oder kreisförmig geformte Graukeile in den Handel (Deutsches Gebrauchs-Muster Nr. 809 422).

Weiteres über die Geschichte des Graukeiles und die Kontroverse Eder contra Goldberg s. Photogr. Industrie 1927. Heft 11 und insbesondere S. 444.

J. M. Eder wählte die für sensitometrische Zwecke günstige Keilkonstante 0,4, bedeckte den Graukeil mit einer fixen Skala auf Zelluloid und kombinierte sie mit Lichtfiltern für die drei Hauptfarben Blau, Grün und Rot und mit einem Gelbfilter, das zur Bestimmung des Sensibilisierungsfaktors und der Beurteilung der Wirkung gelber Dämpfungsfilter diente. Diese Graukeile stellte zunächst nach Eders Angaben Walter Hecht an der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien her, bis die Aktiengesellschaft für Photographische Industrie „Herlango" in Wien III, Rennweg 52, die Herstellung übernahm. Auf diese Kombination von Graukeilsensitometern mit Farbenskalen erhielt „Herlango" den deutschen Musterschutz Nr. 155 306 vom 8. Januar 1921 und diese Sensitometerausführung freigegeben. (Eder-Hechts Graukeilfarbensensitometer.) Da der Musterschutz aber nicht beibehalten wurde, tauchten später mehrfach ähnliche Konstruktionen auf.

Wenn das Graukeilsensitometer mit farbigen Lichtfiltern kombiniert wird, was für die Prüfung orthochromatischer Platten sehr empfehlenswert ist, so ist die quantitative Farbenabsorption anzugeben und überdies der Transmissionskoeffizient, um die Messungen auf ideal transparente Lichtfilter (mit 100% Transmission) reduzieren zu können, wie dies für das Eder-Hecht-Sensitometer auf S. 281 und 398 angegeben wurde.

Wir beschreiben an der Hand des Eder-Hecht-Graukeilsensitometers in seinen verschiedenen Abarten das Wesen und die Handhabung dieser Type von Sensitometern.

Das Graukeilsensitometer Eder-Hecht mit der Keilkonstante 0,40 zeigt (wie aus der Tabelle auf S. 406 ersichtlich ist) eine Erhöhung der Absorption pro 1cm auf das 2,52fache an und umfaßt in der Länge von 12 cm einen Helligkeitsbereich, der ungefähr das 20 000fache des Umfangs beträgt, bei einer Länge von 15 cm sogar das 400 000fache.

E. Otto Langer benützt bei seinem „Graphoskop" Graukeile mit der Konstante 0,602, welche eine Erhöhung der Absorption pro 1 cm um das Vierfache auf-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

weist und bei einer Länge von 9 cm einen Meßbereich von 1 : 260 000 umfaßt. Natürlich ist die Genauigkeit der Messung der Empfindlichkeitsdifferenzen bei so hohen Konstanten gering.

2. Eder-Hechts Graukeilsensitometer mit Farbskala („Farbensensitometer") und verschiedene Formen der Graukeil-Photometer.

Das Eder-Hecht-Graukeilsensitometer enthält einen auf Spiegelglas hergestellten Graukeil im Formate 9 × 12 cm, mit einer durchschnittlichen Keilkonstante 0,4. Die zarte graue Gelatineschicht ist mit Zaponlack geschützt und trägt ein Deckblatt von Zelluloid oder Zellophan, worauf die Skala mit schwarzer Farbe gedruckt und dann mit Bronzestaub eingestaubt ist, um die Deckkraft der Skala zu erhöhen.

Die Teilstriche der Skala steigen von 2 zu 2 mm (d. i. um je 2° E. H.) an, was eine von 1 zu 1,20 ansteigende Empfindlichkeitsanzeige ergibt. Die gesamte Skala umfaßt eine Lichtintensität von zirka 1 bis 200 000. Es lassen sich nicht nur der Schwellenwert, sondern auch die Phänomene der Unter-, Normal- und der Überexposition und die Gradation, sowie auch die Solarisation und Irradiation, die Größe der Farbensensibilisierung orthochromatischer und panchromatischer Platten und der „Kopierumfang" der Kopierpapiere erkennen und messen.

Die dünne farblose Glasplatte (der Träger des Graukeils) läßt das Licht bis zum Ultraviolett von der Wellenlänge 313 durchdringen.

Die farbigen Lichtfilter des Eder-Hecht-Sensitometers mit der Keilkonstante 0,4 haben folgende optische Eigenschaften.

Gelatine-Lichtfilter	Spektrale Farbendurchlässigkeit in $\mu\mu$	Korrektionszahlen zur Umrechnung der angegebenen Empfindlichkeitszahlen auf wahre Farbenempfindlichkeit, bezogen auf ideal transparente Lichtfilter.
Blaues Filter	330 bis 485 $\mu\mu$	3,03
Grünes Filter	485 bis 570 $\mu\mu$	6,35
Rotes Filter	570 bis äußerstes Rot	1,45 bei panchromatischen und stark rotempfindlichen Platten 2,52 bei wenig rotempfindlichen orthochromatischen Platten.
Gelbes Filter	485 bis äußerstes Rot	1,20

Man sieht, daß sich die Spektral-Zonen annähernd aneinanderschließen; ferner ist unmittelbar ersichtlich, daß die Summe der Licht-

zonen hinter dem grünen und roten Filter der Gesamtsensibilisierung (hinter dem Gelbfilter) entspricht, wenn man die Blauempfindlichkeit = 1 setzt (für ideale Transparenz). Vergl. S. 278 und 398.

Die Eichung des Sensitometers erfolgt mit der Hefner-Amylazetatlampe im Abstande von 1 m mit 1 Minute Belichtungszeit. Für praktische Zwecke wird die Belichtung mit 2 mg Magnesiumband (wie es die Firma Herlango in Wien in genau abgewogenen Blättchen liefert) im Abstande von 3 m vorgenommen[1]); bei blauempfindlichen Platten stimmen beide Beleuchtungsarten genügend überein, für farbenempfindliche Platten sind die Empfindlichkeitsanzeigen bei weißem Magnesiumlicht (eventuell bei künstlichem gefiltertem Weißlicht, s. S. 285, 339 und 346) maßgebend.

Man beachte, daß das sekundäre Magnesiumnormallicht nur dann richtige Anzeigen liefert, wenn man das Blättchen auf eine Stahlnadel (wie sie z. B. von Herlango dem Sensitometer beigegeben wird) aufspießt und es am Rande einer nicht leuchtenden kleinen Bunsenschen Gasflamme entzündet (s.S.375).

Abb. 129 zeigt das am meisten verwendete Sensitometer mit doppelter Farbskala, das zum Vergleiche zweier Plattenstreifen ($4^1/_2 \times 12$ cm) besonders geeignet ist. Abb. 130 zeigt das Aussehen einer Sensitometerprobe mit dem Eder-Hecht-Sensitometer mit doppelter Farbskala (vgl. S. 129).

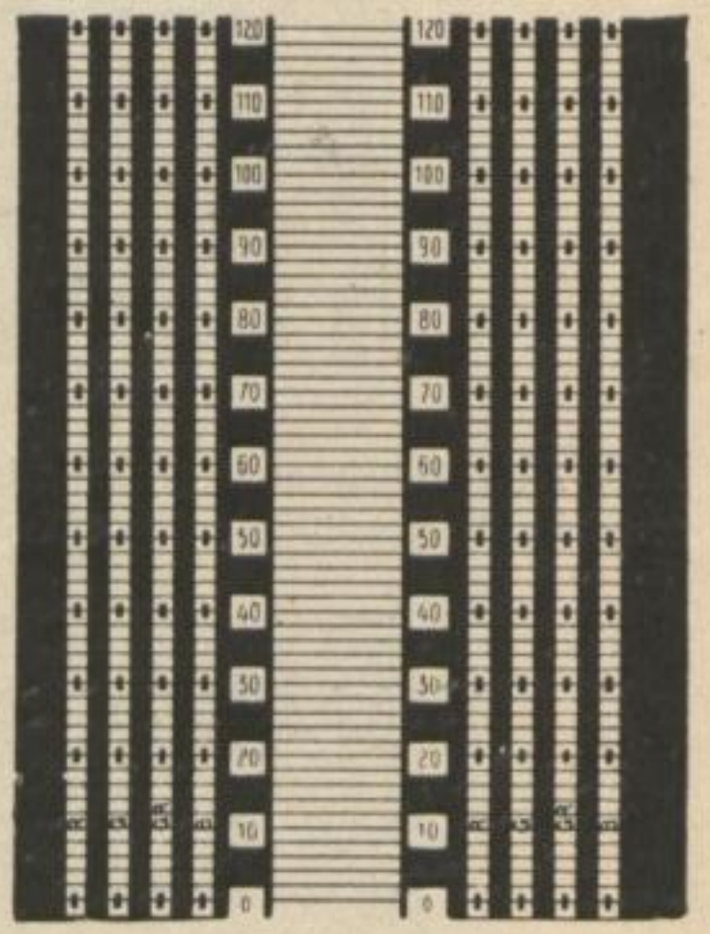


Abb. 129.
Eder-Hecht-Sensitometer mit doppelter Farbenskala (½ Größe).

Für vergleichende gleichzeitige Proben von Plattensorten eignet sich besonders das zweiteilige Sensitometer, dessen Skala Abb. 129 veranschaulicht, weil man mit einem einzigen Blättchen Magnesiumband von 2 mg Parallelversuche anstellen kann, wenn man je zwei Platten in halben Formaten 9×12 cm einlegt. Das Ergebnis der

---

1) Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Proben mit Magnesiumlicht genau nach der Vorschrift vorgenommen und 4—6 mal bei konstantem Plattenmaterial mit reiner Bromsilbergelatine wiederholt werden, um gute Mittelwerte zu erzielen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

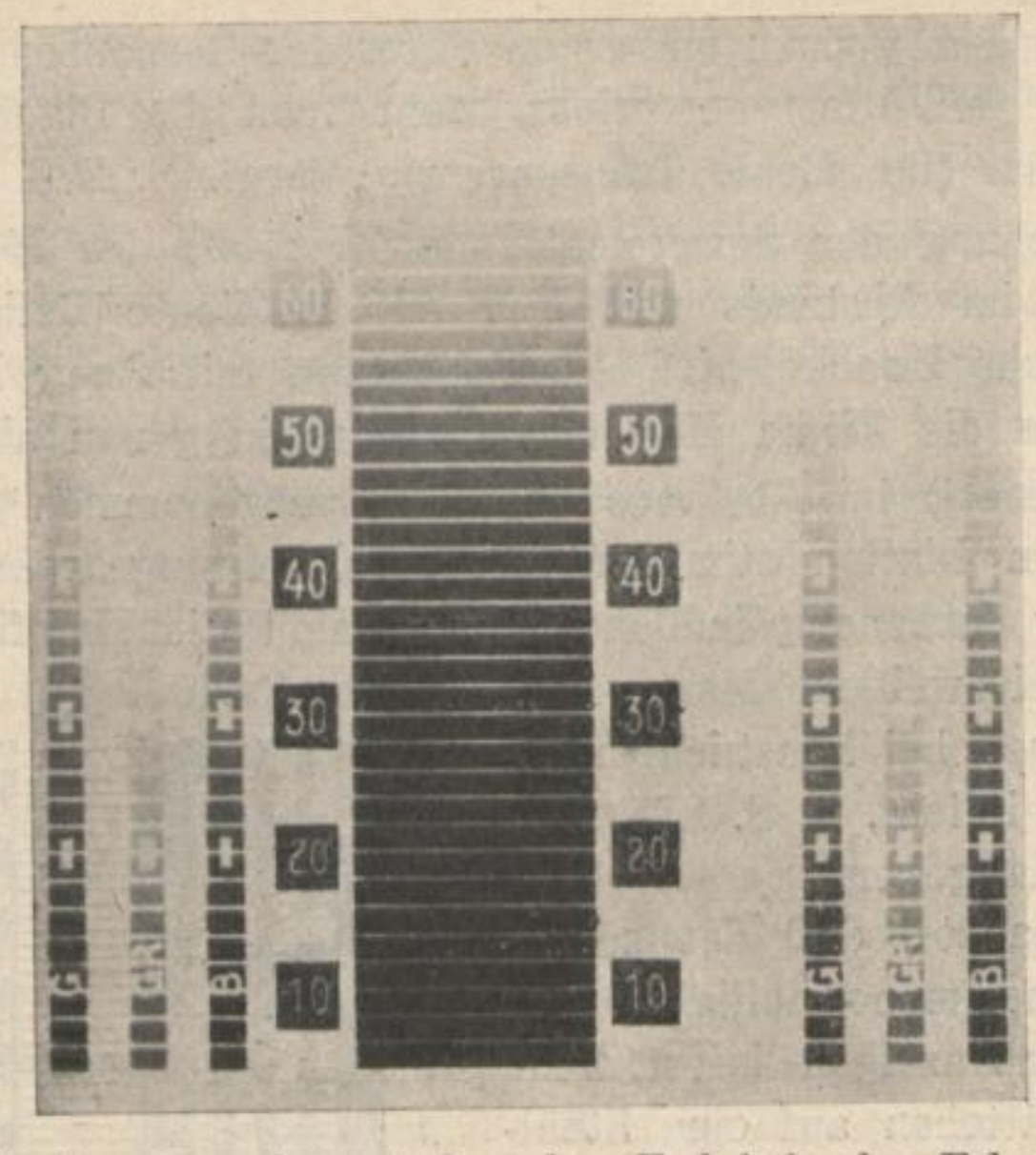


Abb. 130. Sensitometerprobe mit doppelter Farbskala des Eder-Hecht-Sensitometers (beiderseits dieselbe orthochromatische Erythrosinplatte). (Gleiche Größe.)

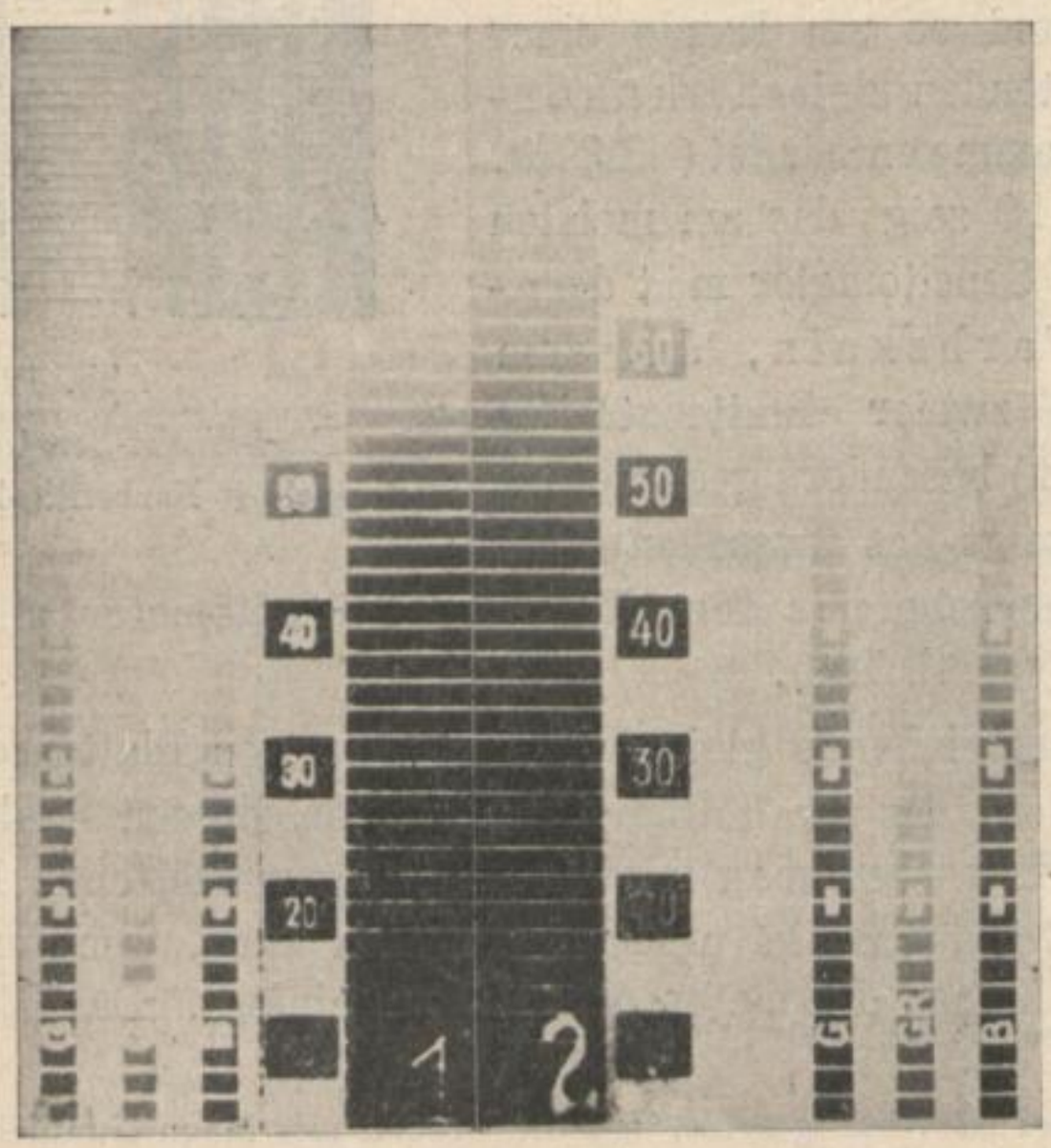


Abb. 131. Sensitometerprobe mit zweierlei verschiedenen Sorten von orthochromatischen Platten bei gleichzeitiger Belichtung mit Magnesiumlicht. (Gleiche Größe.)

vergleichenden Prüfung zweier Plattensorten, von denen die eine wenig empfindlich und kontrastreicher, die andere höher empfindlich und weicher ist, zeigt das Faksimile der Sensitometerergebnisse (Abb. 131).

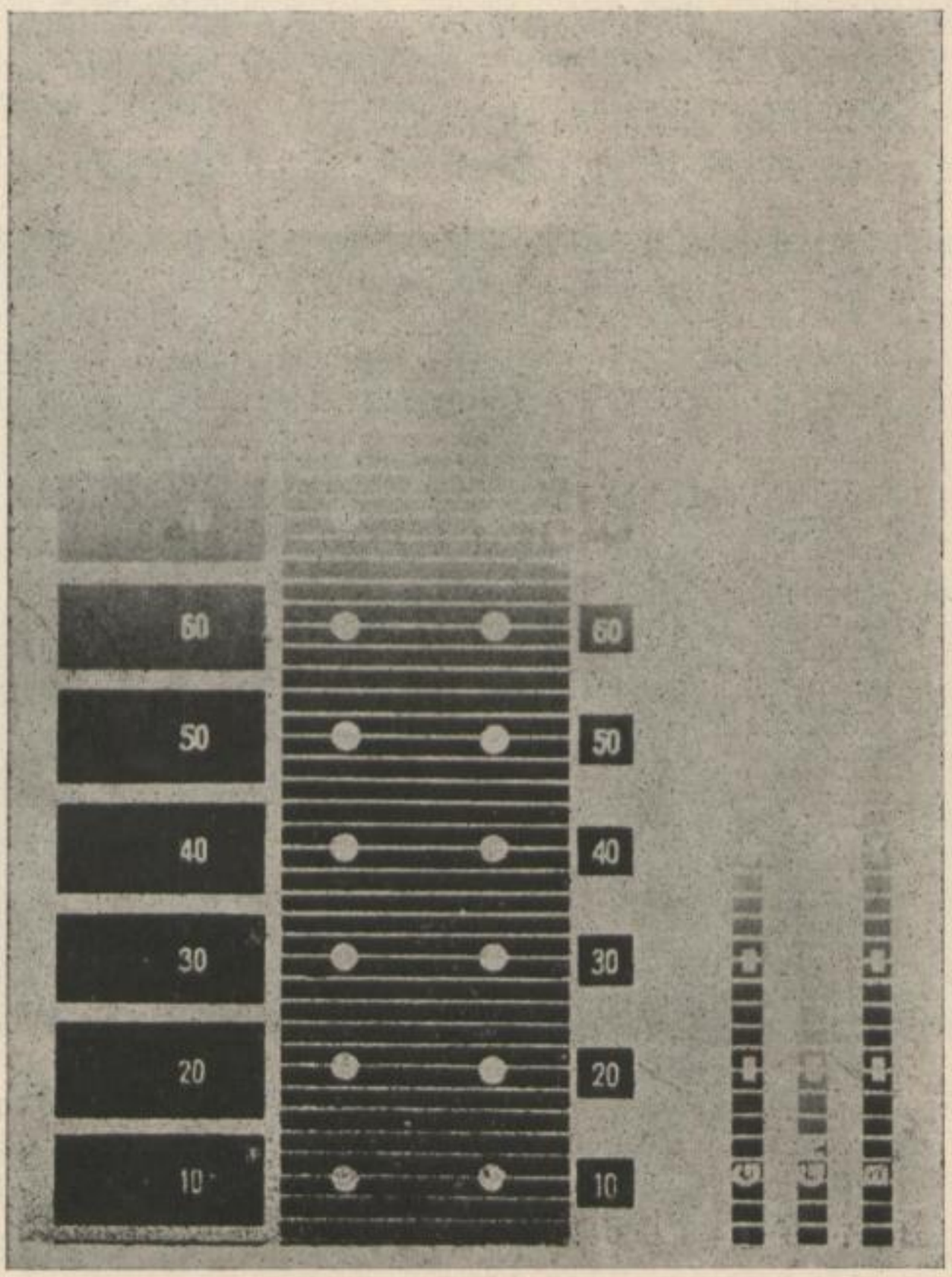


Abb. 132. Eder-Hecht-Sensitometer mit einfacher Farbskala und breiten Seitenfeldern (Original-Größe). Die schmalen Streifen rechts zeigen die Wirkung hinter den farbigen Gelatinestreifen. Der mittlere Teil und die quadratischen Felder geben die Wirkung hinter der Sensitometer-Skala ohne Farbenfilter an.

Abb. 132 zeigt das Eder-Hecht-Sensitometer mit einfacher Farbskala und breiten Schwärzungsfeldern, die zur Messung der Schwärzung im Abstande von je 1 cm an der entwickelten und fixierten Platte mit dem Hartmann'schen Polarisationsphotometer besonders geeignet sind. Die breiten Felder der Schwärzung (Abb. 132, links) gestatten sofort in der Dunkelkammer

noch während der Entwicklung ein Urteil über den Fortgang der Schwärzung; während der Schwellenwert an der Mittelskala abzulesen ist.

Das Aussehen der mit dem Sensitometer mit einfacher Farbskala hergestellten photographischen, entwickelten und fixierten Proben zeigt im Faksimile die Abb. 132 in natürlicher Größe. Die sehr großen Felder links wurden (um dem Wunsche der Trockenplattenfabrikanten zu entsprechen) sehr groß gemacht, damit man

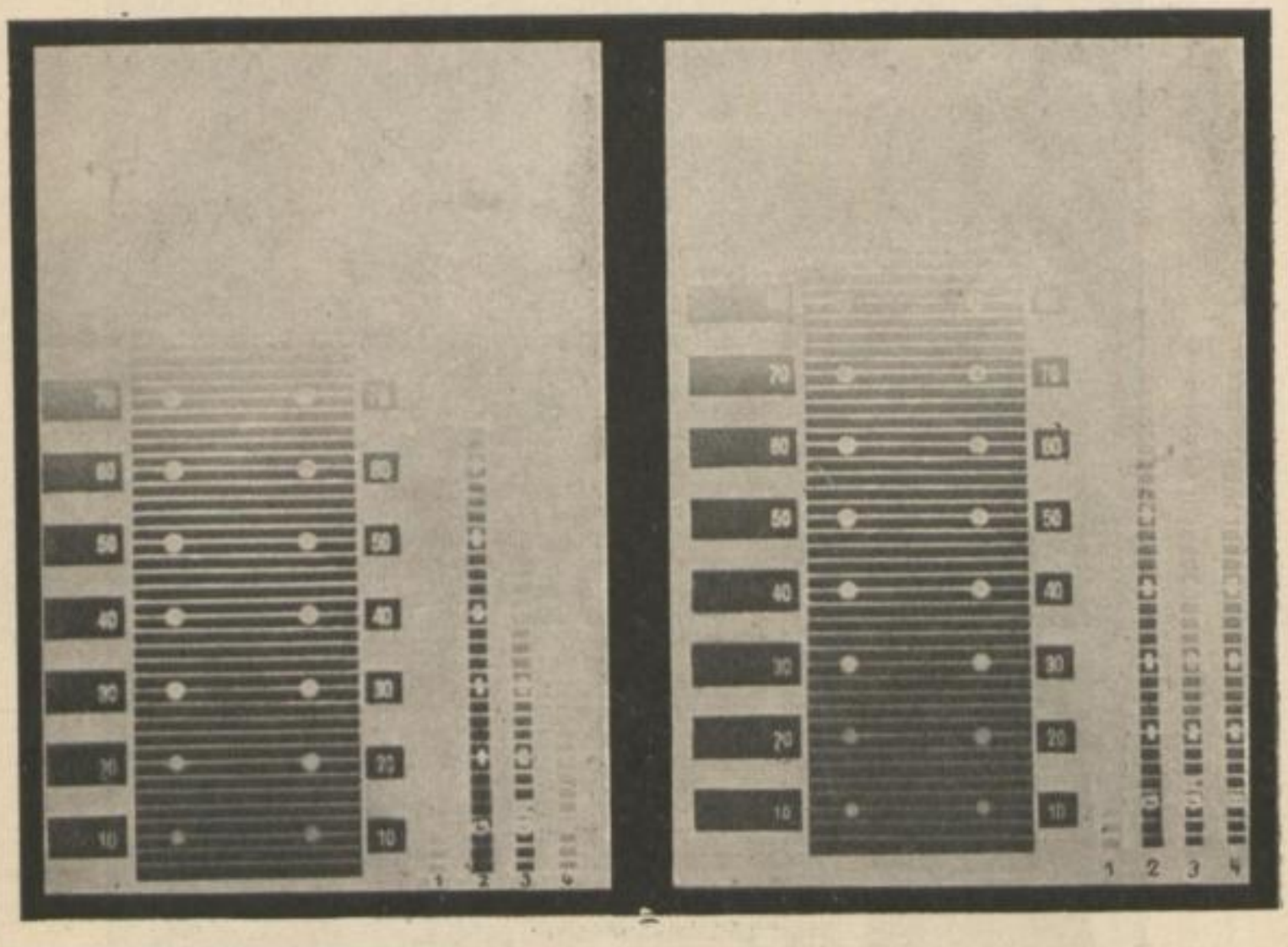


Abb. 133. Wirkung des Scheinerlichtes auf orthochromatische Platten (Perutz-Braunsiegelplatte).

Abb. 134. Wirkung des Sonnenlichtes auf orthochromatische Platten (Perutz-Braunsiegelplatte).

1 = Rotfilter, 2 = Gelbfilter, 3 = Grünfilter, 4 = Blaufilter.

schon während der Entwicklung in der Dunkelkammer eine Übersicht des Verlaufes der Schwärzung bekommt. Die mit B, GN und G bezeichneten Streifen bedeuten Blau-, Grün- und Gelbfilter; der mit R bezeichnete rote Streifen tritt in dieser Abb. nicht in Erscheinung, weil die Platte eine verschwindende Rotempfindlichkeit besaß.

Die Verschiedenheit in der spektralen Zusammensetzung des Tages- und Benzinlichtes ist aus Abb. 133 und 134 (halbe Größe) zu ersehen. Die Aufnahmen wurden von der Trockenplattenfabrik Otto Perutz in München[1]) so gewonnen, daß eine orthochromatische

1) Perutz-Mitteilungen. Herbstheft 1927.

Platte unter dem Eder-Hechtgraukeil mit Farbfiltern erstens mit Tageslicht und zweitens mit Scheinerlicht solange belichtet wurde, bis auf beiden Platten ungefähr dieselbe Schwellenwertschätzung (zirka 96°—98° Eder-Hecht) erzielt wurde. Die relative Länge der Schwärzungen hinter den Farbfiltern ist dann ein Maß für die spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle. Bei Tageslicht zeigt Gelb 78°, Blau 74°, also nach der Reduktion auf ideale Transparenz der Farbfilter, Gelb: Blau = 1:2; Scheinerlicht ist Gelb 78°, Blau 46°, also Gelb: Blau = zirka 1:0,16 als Ausdruck der wahren Farbenempfindlichkeit.

Sowohl bei gewöhnlichen als auch bei farbenempfindlichen Bromsilbergelatineplatten erweist es sich als sehr vorteilhaft, wenn man einen Streifen einer Plattensorte neben einem Probestreifen einer anderen einlegt, beide gleichzeitig belichtet und entwickelt und demzufolge eine korrekte Vergleichung in einer einzigen Probe vornehmen kann.

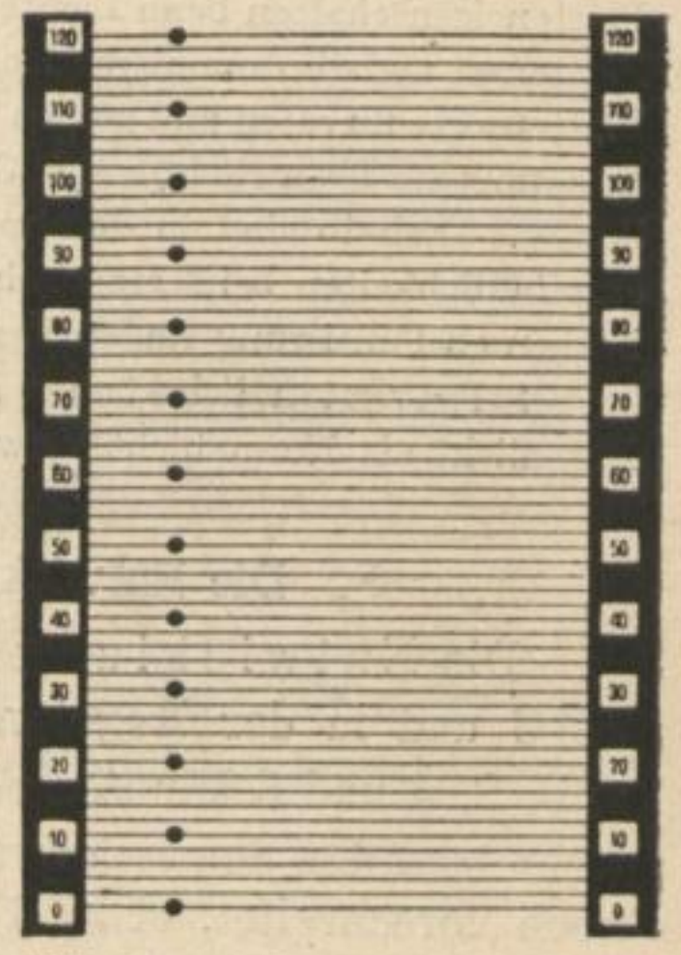


Abb. 135. Eder-Hecht-Sensitometer-Skala ohne Farbstreifen zum Empfindlichkeitsvergleich mehrerer Papierstreifen oder Plattenstreifen zwecks Bestimmung der Schwarzschildschen Exponenten p und q (½ Größe).

Zu gewissen Versuchen erscheint die Verwendung von Skalen des Eder-Hecht-Sensitometers ohne Farbenstreifen wünschenswert, wie sie Abb. 135 zeigt; die Skala ist so breit, daß sie gleichzeitige Belichtung einer größeren Anzahl von schmalen Streifen photographischer Papiere, Lichtpauspapiere usw. ermöglicht. Dies ist zur Bestimmung der Schwarzschildschen Exponenten p und q nützlich, ferner zur Prüfung der Solarisation und der Lichthof-Bildung (Belichtung hinter einem auf die Skala gelegtem Blatt schwarzen Papieres, das in der Mitte einen schmalen parallelwandigen Ausschnitt hat; s. später).

Die Belichtung der Platten im Sensitometer.

Die Belichtung von Negativmaterial erfolgt im Eder-Hecht-Sensitometer gewöhnlich mit 2 mg Magnesiumband, das an einer kleinen, nicht leuchtenden Flamme eines Bunsengasbrenners (Abstand 3 m) in der Dunkelkammer abgebrannt wird (vgl. Kapitel XVIII).

Will man im Sinne der Internationalen Kongreß-Beschlüsse (1925 und 1928) die Plattenempfindlichkeit auf das konventionelle mittlere Mittags-Sonnenlicht zurückführen, so muß man die auf S. 340 angegebenen Kupfer-Kobalt-Lösungen in einer Doppelwanne als Lichtfilter einschalten und die Menge des abzubrennenden Magnesiums verdoppeln.

Wenig gebräuchlich ist in der Praxis die Verwendung der Hefnerkerze, weil diese allzuweit vom Tageslicht abweicht und die relativen Werte hinter den Farbskalen nicht unmittelbar für weißes Licht (Tageslicht, elektrisches Bogenlicht, Tageslichtlampen) gelten.

Nichtsdestoweniger sind sensitometrische Analysen der photographischen Platteneigenschaften beim Lichte der Hefnerkerze sehr wertvoll zur Erkennung der Plattenart und die dominierenden gelben und roten Strahlen gestatten die Analyse der Plattensorte im roten und gelben Bezirke besonders genau. Auch ist die vollkommene Konstanz des Hefnerlichtes eine Garantie gegen Helligkeitsschwankungen des Normallichtes. Deshalb sind in den später mitgeteilten Tabellen auch die Sensitometerempfindlichkeiten bei Kerzenlicht angegeben, weil man mit ihrer Hilfe die Art der Farbensensibilisierung finden kann.

Selbstverständlich können sinngemäß auch Azetylen, die Glühlampe oder das Bogenlicht als Normallicht verwendet werden (s. S. 366).

Die Entwicklung der Sensitometerproben.

Die Entwicklung erfolgt meistens mit Metolhydrochinon bei 18° C und in der Regel mit drei verschiedenen Entwicklungszeiten, z. B. 2, 4 und 6 Minuten oder man wählt längere Entwicklungszeiten, wenn man den Schwellenwert bestimmen will (solange die Entwicklung noch vorschreitet, etwa 8 Min. oder länger). Häufig entwickelt man solange als der photographischen Praxis entspricht, also durchschnittlich auf den Gradationswert Gamma = 1 (für Porträtaufnahmen $\gamma = 0{,}8$, für Landschaften $\gamma = 1{,}2$).

Oft hält sich der Praktiker an seinen gewohnten Entwickler oder an den in der Gebrauchsanweisung angegebenen (über Normalentwickler s. S. 136).

Die Platten müssen bei Vergleichsproben gleich lang und gleichartig entwickelt werden, gleichzeitig kurz gewaschen und im sauren Fixierbad fixiert werden. Mitunter schaltet man nach dem kurzen Waschen ein Bad von verdünnter Essigsäure oder ein Bisulfitbad zur Hemmung der Entwicklung ein.

Den Schwellenwert liest man gegen diffuses Licht ab (s. S. 31 und 405).

Die Ablesung der Sensitometeranzeigen. — Schwellenwert, Gradation, Farbenempfindlichkeit.

Die entwickelten Sensitometergrade der fixierten Sensitometerstreifen werden am besten nach dem Trocknen abgelesen. Man hält sie ziemlich weit vom Auge entfernt, gegen den Himmel oder gegen gut beleuchtetes weißes Papier oder auf eine Mattscheibe eines diffus beleuchteten Retuschierpultes.

Der letzte, eben noch wahrnehmbare Skalenstrich der Skala ergibt den Schwellenwert (s. Seite 27). Zugleich kann man die Schwellenwerte hinter den Farbenskalen ablesen. Es ist sehr zu empfehlen nicht nur den wahren Schwellenwert sondern auch den Schwellenwert der beginnenden Gradation abzulesen (s. S. 30).

Um den Schwellenwert sicher zu bestimmen, muß die Sensitometerprobe mit Magnesiumlicht 4—6mal wiederholt werden und ein Mittelwert für die Schwelle der Empfindlichkeit gerechnet werden.

Bei relativen Empfindlichkeitsproben vergleicht man nicht nur den Schwellenwert der Platten, sondern auch die stärker geschwärzten Partien der Platte. Bei gleichem Schwellenwert ist jene Plattensorte praktisch die empfindlichere, welche die schwachen Nummern besser gedeckt zeigt.

Zwischen den Skalengraden des Eder-Hecht-Sensitometers und der ihnen entsprechenden relativen Empfindlichkeit besteht der in der Tabelle auf Seite 406 angegebene Zusammenhang.

Siehe Tabelle nächste Seite.

Werte der Skalenteile des Eder-Hechtschen Graukeil-Sensitometers (K. = 0,401) in Sekundenmeterkerzen.

Die Werte der Skalenteile des Graukeil-Sensitometers lassen sich in Sekundenmeterkerzen ausdrücken.

Würde keine Reflexion und Absorption des Lichtes durch die Glas-, Gelatine- und Zelluloidschichte eintreten, so wäre beim Abstand der Hefnerlampe = 1 m im Nullpunkt der Skala die Lichtwirkung = 60 Sekundenmeterkerzen, weil man mit der normalen Belichtungszeit von 60 Sekunden zu rechnen hat.

Berücksichtigt man aber den Lichtverlust in der mit Zelluloid geschützten gelatinierten Glasplatte

Skalenwerte des Eder-Hecht-Sensitometers zur Bestimmung der Lichtempfindlichkeit photographischer Platten.

(Keilkonstante [1]) = 0,401.)

Belichtung: 1 Minute mit 1 Hefner-Meterkerze oder 2 mg Magnesium in 3 m Abstand.

Skalengrade	Relative Empfindlichkeit	Skalengrade	Relative Empfindlichkeit
2	0,47	62	122,2
4	0,573	64	147,0
6	0,69	66	176,8
8	0,83	68	212,8
10	1,00	70	256,0
12	1,203	72	308,0
14	1,45	74	370,5
16	1,74	76	445,7
18	2,09	78	536
20	2,52	80	645
22	3,03	82	776
24	3,65	84	934
26	4,39	86	1123
28	5,28	88	1351
30	6,35	90	1625
32	7,64	92	1955
34	9,19	94	2352
36	11,05	96	2829
38	13,3	98	3404
40	16,0	100	4094
42	19,3	102	4926
44	23,2	104	5926
46	27,9	106	7130
48	33,5	108	8580
50	40,3	110	10 320
52	48,5	112	12 411
54	58,3	114	14 930
56	70,2	116	17 961
58	84,4	118	21 607
60	101,6	120	25 993

[1]) Diese Keilkonstante ist der mittlere Wert, welcher der Rechnung der Tabelle zugrunde liegt.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

(durchschnittlich 26%), so ergeben sich für das Graukeil-Sensitometer (K. = 0,401) folgende Werte der Sensitometergrade in Sekundenmeterkerzen:

Tabelle der Lichtwirkung in Sekundenmeterkerzen im Eder-Hechtschen Graukeil-Sensitometer.

(Keilkonstante = 0,401. — Belichtungszeit = 1 Minute mit 1 Hefner-Meterkerze.)

Skalen-grade	Sekunden-meter-kerzen	Skalen-grade	Sekunden-meter-kerzen	Skalen-grade	Sekunden-meter kerzen	Skalen-grade	Sekunden-meter-kerzen
2	36,9	28	3,3	54	0,30	80	0,028
4	30,6	30	2,8	56	0,25	82	0,023
6	25,8	32	2,3	58	0,21	84	0,019
8	21,3	34	1,9	60	0,17	86	9,016
10	17,8	36	1,6	62	0,14	88	0,013
12	14,7	38	1,3	64	0,12	90	0,011
14	12,0	40	1,1	66	0,098	92	0,0089
16	10,2	42	0,93	68	0,084	94	0,0075
18	8,4	44	0,75	70	0,071	96	0,0062
20	7,1	46	0,62	72	0,058	98	0,0053
22	4,8	48	0,53	74	0,049	100	0,0043
24	4,9	50	0,44	76	0,040	102	0,0036
26	4,0	52	0,36	78	0,033	104	0,0030

Beispiel: Eine Trockenplatte zeigt den Schwellenwert von 70° Eder-Hecht = 0,07 Sekundenmeterkerzen, d. h. eine Hefner-Kerze bewirkt im Abstande von 1 m den ersten nachweisbaren Lichteindruck bei einer Belichtungszeit von 0,07 Sekunden.

Die Bestimmung der Schwärzungskurve im Photometer kann an einem beliebigen dieser Streifen vorgenommen werden, weil die Gradation der Kurve (das Gamma) von kleinen Belichtungsdifferenzen unabhängig ist.

Man beachte, daß die Messung der Schwärzung (Dichte) der breiten Felder genau im regelmäßigen Abstande von je 1 cm erfolgen soll.

Wenn das Martens-Photometer nicht das volle Schwärzungsfeld umschließt, so resultieren falsche Messungen. — Bei Verwendung eines Mikrophotometers können auch ganz kleine Felder der Schwärzungsskala erfaßt werden.

Beim Vergleiche der Empfindlichkeit zweier Platten liest man den Schwellenwert der letzten (schwächeren) Nummern ab und erkennt sehr deutlich an den folgenden Feldern die Gradation, Härte oder Weichheit zweier Platten; durch Opazitätsmessungen kann man die charakteristische Kurve bestimmen. Legt man einerseits eine gewöhnliche, andererseits eine orthochromatische Platte ein, so gibt das Magnesiumlicht annähernd die relative Expositionszeit für Tageslicht und auch für offenes elektrisches Kohlenbogenlicht (Reinkohle).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Derselbe Versuch offenbart auch die relative Farbenempfindlichkeit der untersuchten Platte.

Man erkennt auch an dem Vergleiche mit der Blauempfindlichkeit, ob der Sensibilisator die Farbenempfindlichkeit auf Kosten der Blauempfindlichkeit steigerte oder die Gesamtempfindlichkeit und die Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers im Blau durch den Sensibilisator erhöht wurde, was mitunter der Fall ist, aber meistens übersehen wird.

Einen besonders guten Überblick erhält man bei der parallelen Belichtung zweier farbenempfindlicher Platten mit Magnesiumlicht und Ermittlung der Empfindlichkeitszahlen.

3. Vergleichung der Skalenwerte des Eder-Hecht-Sensitometers, des Scheiner-Sensitometers, der wirkenden Meter-Kerzen-Sekunden und der Hurter-Driffieldschen Empfindlichkeitszahlen.

Unsere Tabelle auf Seite 410 gibt den Wert der Skalengrade des Eder-Hecht-Sensitometers an und die wirkenden Sekundenmeterkerzen; daneben die Scheinergrade (rotierende Scheibe, mit Benzinkerze 1 m Distanz und 1 Min. Exposition). Die Hurter- und Driffieldgrade sind nicht streng vergleichbar; die Näherungswerte der Tabelle dienen nur zur Orientierung auf Grund zahlreicher vergleichender Proben, wie Eder sie in der Phot. Industr. und in der Phot. Rundschau 1924 beschrieben hat.

Kennt man die relative Empfindlichkeit gewöhnlicher oder farbenempfindlicher Platten bei Magnesiumlicht, so hat man eine konstante Relation zur praktischen Exposition bei Tageslicht. Man muß berücksichtigen, daß die spektrale Verteilung der Helligkeit der Spektralfarben im Tageslichte mit dem Sonnenstande und der Bewölkung stark schwankt (s. S. 337). Die Prüfung bei Magnesiumlicht ist von solchen Schwankungen unabhängig und die Belichtungszeiten können den Variationen des Tageslichtes angepaßt werden; die Relation gegenüber elektrischem Bogenlicht mit Reinkohle (frei an der Luft) ist konstant.

Die Skala des hier erwähnten Sensitometers und der Magnesiumeinheit reicht für alle Platten auch höchster Empfindlichkeit aus.

Sehr wenig empfindliche Gaslichtpapiere oder Diapositiv- oder photomechanische Platten prüft man mit 8 mg Magnesium (vier Stückchen des Normalbandes) bei einem Abstande von 50 cm. Die Lichtmenge ist dann 144mal so groß als beim Abstand von 3 m, was man in Rechnung setzt.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Unter diesen Verhältnissen zeigt z. B.

Reines Chlorsilberpapier (wie Gaslichtpapier „Velox“ usw.) zirka	26° E. H.
Herlango „Gaslicht“	46°
Gaslichtpapier (z. B. Mimosa)	50°
Andere Sorten Bromsilberpapier	56°
Chlorbrom-Gaslichtpapier (Kodura) zirka	74°.

Aber die Entwicklungsdauer dieser Papiere ist eine kürzere als von Trockenplatten (höchstens 1 bis $1^1/_2$ Minuten).

Umstehende Tabelle vergleicht die Anzeigen der Schwellenwerte im Eder-Hecht- und Scheiner-Sensitometer mit den Hurter und Driffields „Inertia“-Graden, welche Zahlen aber nur als Näherungswerte und zum Zwecke der Orientierung zu betrachten sind, weil die grundsätzlich verschiedenen Sensitometersysteme nicht streng vergleichbar sind.

4. Prüfung farbenempfindlicher Platten.

Für die praktische Photographie ist die Kenntnis der relativen Farbenempfindlichkeit photographischer Platten bei Tageslicht von besonderem Werte. Die Gesamtempfindlichkeit einer farbenempfindlichen Platte gegen Tageslicht ist eine andere, als gegenüber dem gelblichen Kerzenlicht, aber sehr ähnlich jener gegen Magnesiumlicht. Deshalb genügt es für praktische Zwecke, die Sensitometeranzeige des Eder-Hecht-Sensitometers bei Magnesiumlicht der Berechnung der Expositionszeit zugrunde zu legen, falls man ohne Lichtfilter vor dem Objektiv arbeitet. Es ist ja nicht schwierig diese Werte auf mittleres Sonnenlicht zu reduzieren (s. S. 338). Als Entwickler dient Metol-Hydrochinon. Panchromatische Platten, welche zu Schleier neigen, entwickelt man mit saurem Amidolentwickler oder Spezialentwickler (s. S. 136) oder benutzt einen Densibilisator.

Für die Größe der Gesamtfarbensensibilisierung ist die Empfindlichkeitsrelation hinter dem Blau- und Gelbfilter maßgebend, welche durch den Sensibilisierungsfaktor (s. S. 278) ausgedrückt wird. Das Gelbfilter des Eder-Hecht-Sensitometers läßt alle Farbenstrahlen von Grün, Gelb, Orange und Rot gut durch.

Das Blaufilter ist derartig zusammengesetzt, daß es bei Verwendung von Magnesiumlicht ein Gemisch von Blau, Violett und den Beginn Ultraviolett durchläßt (s. S. 282). Diese Verhältnisse entsprechen annähernd der Lichtempfindlichkeit der Bromsilberplatten bei direktem hellen Tageslicht.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Angezeigte Lichtempfindlichkeit im Eder-Hechts Sensitometer und Reduktionstabelle für Sensitometergrade von J. M. Eder.

Klassifikation der Platten	Relative Empfindlichkeit	Schwellenwert in Sekundenmeterkerzen	Sensitometerzahl (Grade) nach: Eder-Hecht-Graukeilsensitometer Keilkonstante 0,40 *	Scheiner **	Hurter und Driffield nach Eder (1924)
Gaslichtpapier	0,47	36,9	2		
	0,57	30,6	4		
	0,69	25,8	6		
Bromsilberkollodium (bei Mg-Licht)	0,83	21,3	8		
	1,00	17,8	10		
	1,20	14,6	12		
	1,45	12,0	14		
Bromsilberkontaktpapier	1,74	10,2	16		
	2,09	8,4	18		
	2,52	7,1	20		
	3,03	5,8	22		
	3,65	4,9	24		
Bromsilberkollodium mit Eosinsilber	4,39	4,0	26		
Bromsilberpapier für Vergrößerungen	5,28	3,3	28		
	6,35	2,8	30		
	7,64	2,3	32		
	9,19	1,9	34		
	11,05	1,6	36		
	13,3	1,3	38		
	16,0	1,1	40		
	19,3	0,93	42	1	6
Kino-Positivfilme und Diapositivplatten	27,9	0,62	46	2	8
	33,5	0,53	48	3	10
	40,3	0,44	50	4	13
	48,5	0,36	52	5	17
	58,3	0,30	54		

* Mit Magnesium-Normallicht (2 mg Magnesium im Abstande von 3 m) oder Amylazetat-Normallicht (Abstand 1 m, Belichtungszeit 1 Minute).

** Mit Scheiners Benzinlampe (Abstand 1 m, Belichtungszeit 1 Minute).

*** Normale Kinofilme der Eastman Kodak Co. (1928). s. S. 411.

Angezeigte Lichtempfindlichkeit usw. (Fortsetzung).

Klassifikation der Platten	Relative Empfindlichkeit	Schwellenwert in Sekunden-meterkerzen	Sensitometerzahl (Grade) nach		
			Eder-Hecht-Graukeilsensi-tometer Keil-konstante 0,40 *	Scheiner **	Hurter und Driffield nach Eder (1924)
Photomechanische Platten	70,2	0,25	56	6	22
	84,4	0,21	58	7	27
Gewöhnl. Amateur-, Landsch.- u. Tiefdr.-Platten	102	0,19	60	8	35
	122	0,14	62		
	147	0,12	64	9	45
	177	0,10	66	10	56
	213	0,08	68	11	72
Rapidplatten	256	0,07	70	12	91
	308	0,06	72		
	370	0,05	74	13	117
	445	0,04	76	14	150
	536	0,033	78		
Kino-Negativfilme, Extra-Rapidplatten	645	0,028	80	15	190
	776	0,023	82	16	240 ***
	934	0,019	84	17	308
Ultrarapidplatten	1123	0,016	86	18	390
	1351	0,013	88	19	500†
	1625	0,011	90	20	636
	1955	0,009	93	21	800
	2352	0,007	96	22	900
	2829	0,006			
Höchst empfindliche Platten	3404	0,005	98	23	1000††
	4094	0,004	101	24	1200
	4926	0,0036			
	5930	0,0030	104	25	
	7130		106	26	
	8589		108	27	
	10 320		110	28	
	12 400		112		
	14 900		114		
	18 009		116		
	21 600		118		
	26 000		120		

†) Hochempfindliche Kinofilme der Eastman Kodak-Co. (1928).

††) Lumière und Jougla-Platten von 98° E. H. werden mit 750° Hurter u. Driffield angegeben (1928). Diese Differenzen sind auf den verschieden langen Fuß der Schwärzungskurve nächst dem effektiven Schwellenwert zurückzuführen.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Im reflektierten Lichte von Papier, Ölgemälden usw. tritt der Anteil an Ultraviolett sowohl bei Tageslicht als auch bei Magnesiumlicht zurück.

Die Zonen des Sonnenspektrums sind in bezug auf die Wellenlängen des durchgelassenen Lichtes auf S. 210 und 282 näher beschrieben.

NB. Man übersehe nicht die Umrechnungsmöglichkeit der verschiedenen Gelatinefilter, auf solche von idealer Transparenz (s. S. 273 u. 279).

Für den Fall, daß man den relativen Empfindlichkeitsvergleich mehrerer photographischer Plattensorten dem Tageslichte gegenüber durchzuführen hätte, kann man eine derartige sensitometrische Bestimmung am besten mit Hilfe mehrerer Eder-Hechtscher Graukeil-Sensitometer, und zwar mit doppelter Farbenskala, erledigen. Sowohl den infolge Wolkenwanderung auch in kurzen Zeiträumen zu befürchtenden Helligkeitsschwankungen als auch eventuellen kleinen Unterschieden der Graukeile Rechnung tragend, wählt man eine von den verschiedenen Plattensorten als durchlaufende Vergleichssorte für alle diese Versuche aus. Es werden demnach in jedem Sensitometer zwei Plattenhälften gleichzeitig exponiert, wovon die eine die Vergleichsplatte ist. Zur Belichtung der Platten hat sich folgende Einrichtung von Krumpel sehr bewährt[1]). In einem schwarz verklebten Dunkelkammerfenster, welches in diesem Falle ins Freie führen muß, wird eine kreisrunde, das Tageslicht voll durchlassende Stelle freigemacht. An der Außenseite vor dem Fenster befindet sich ein weißer Reflexschirm, welcher unterhalb des Fensters an der Mauer drehbar befestigt ist und dem mittels eines Zugbandes verschiedene Neigungen erteilt werden können, so daß er sich im unbenützten Zustande vollkommen an das Fenster anzulegen vermag. Vor der kreisrunden Öffnung wird nun ein Objektiv kürzerer Brennweite befestigt. Auf diese Weise läßt sich eine Fläche von gleichmäßiger Helligkeit erzielen, so daß auch eine größere Anzahl von Sensitometern vollständig gleichartig und gleich lange belichtet werden kann. Die Belichtungszeit kann vorteilhaft durch die Objektivblende entsprechend reguliert werden.

5. Vergleichung der Sensitometeranzeigen bei Hefnerlicht. Magnesiumlicht und Tageslicht ohne Vornahme einer Korrektur.

Zum besseren Verständnis des Verhaltens ein und derselben Plattensorte bei sensitometrischer Prüfung mit der Hefnerlampe (1 m Abstand, Expositionszeit 1 Minute) oder der analogen Scheinerlampe (im Abstande von 0,274 m) und dem Magnesiumlicht (2 mg Magnesium in 3 m Abstand) bei gleichartiger Entwicklung dient umstehende Gegenüberstellung einer eigens für diesen Zweck angestellten Versuchsreihe.

Wie man aus dieser Zusammenstellung entnimmt, verläuft die Sensitometeranzeige für gewöhnliche (nicht orthochromatische) Bromsilbergelatineplatten bei Magnesium- und Amyllicht annähernd gleichartig; dasselbe gilt für die Tageslichtempfindlichkeit. — Anders

[1]) O. Krumpel, Phot. Korresp. 1928, S. 74.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

verhalten sich farbenempfindliche Platten, bei welchen die Hefnerlampe z. B. um 4—14 Grade E. H. höhere Zahlen der Gesamtempfindlichkeit liefert, desgleichen differieren die Zahlen für Gelb, Grün und Rot, während die Blauempfindlichkeit bei Hefnerlicht gegenüber dem Magnesiumlicht zurückbleibt. Bei hochgesteigerter Farbenempfindlichkeit für Gelb und Rot tritt dies am stärksten hervor. Das Maß der relativen Farbenempfindlichkeit erkennt man am deutlichsten, wenn man die relative Empfindlichkeit für Blau = 1 setzt und aus folgender Tabelle (durch Division der relativen Empfindlichkeitszahlen durch die Blauempfindlichkeit) die entsprechende Relation aufstellt.

Die Ablesungszahlen hinter den Farbenfiltern des Sensitometers sind in den nachstehenden Tabellen zunächst als die Ergebnisse der unmittelbaren Ablesung angegeben (ohne Korrektur auf ideale Transparenz). Sie repräsentieren also die direkt im Versuchslaboratorium an den fixierten und getrockneten Platten abgelesenen Ziffern.

Die nachstehende Tabelle gibt die relative Farbenempfindlichkeit verschiedener Platten für die Hefnerkerze und Magnesiumlicht.

Relative Empfindlichkeit bezogen auf Blau = 1.
(unkorrigiert)

Lichtquelle	Plattensorte	Rot	Gelb	Grün	Blau
1. Magnesium	Gewöhnliche	—	0,04	0,02	1
Hefnerlampe	Bromsilbergelatine	0,006	0,1	0,06	1
2. Magnesium	Orthochrom. Platte	—	0,16	0,02	1
2. Hefnerlampe	„ „	0,006	1,7	0,09	1
3. Magnesium	„ andere	0,006	1,5	0,08	1
3. Hefnerlampe	„ „	0,19	9,3	0,47	1
4. Magnesium	Kinonegativfilm	—	0,13	0,03	1
5. Magnesium	Panchromat. Film (Kod.)	1	2,5	0,1	1
6. Magnesium	Panchrom. Platte des Handels	0,15	1,2	0,15	1
6. Hefnerlampe		3,7	11,1	0,7	1
7. Magnesium	Pinaverdolbadeplatte	0,13	1,0	0,13	1
7. Hefnerlampe	„	4,4	1,6	1,2	1
8. Magnesium	Pinachromviolett mit Pinaverdol	1,2	3,6	0,47	1
8. Hefnerlampe		16	28	1,8	1
9. Magnesium	Pinazyanol	0,8	1,3	0,1	1
10. Magnesium	Pinaflavin	—	1	0,23	1
10. Hefnerlampe	„	—	7,8	2,1	1

Ganz ähnlich der Pinaverdolplatte verhalten sich Pinachromplatten, jedoch mit etwas höherer Rotempfindlichkeit.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Vergleichung der unkorrigierten Sensitometeranzeigen Eder-Hecht bei Hefnerlicht, Magnesiumlicht, das mittlerem Tageslicht annähernd entspricht.

	Lichtquelle	Plattensorte	Sensitometergrade Eder-Hecht					Relative Lichtempfindlichkeit (unkorrigiert)				
			frei	Lichtfilter				frei	Lichtfilter			
				rot	gelb	grün	blau		rot	gelb	grün	blau
1.	Magnesium	Bromsilbergelatine	80	—	32	26	66	645	—	7,6	4,4	177
	Hefnerlampe	,, ...	80	—	42	34	64	645	1,0	19	9,4	147
2.	Magnesium	andere Sorte	78	—	34	24	66	536	—	9	3,7	177
	Hefnerlampe	,, ,, ...	78	—	54	32	64	536	—	58	7,6	147
3.	Magnesium	Orthochromat. Platte . . .	84	—	54	32	74	934	—	58	7,6	371
	Hefnerlampe	,, ,, . . .	88	14	76	44	70	1351	1,5	446	23	256
4.	Magnesium	,, andere . .	74	2	62	30	58	371	0,5	122	6,4	84
	Hefnerlampe	,, ,, . . .	84	32	74	42	50	934	7,6	371	19	40
5.	Magnesium	Kino-Negativfilm	78	—	44	28	66	536	—	23	5	176
	Hefnerlampe	,, ,, ...	86	—	72	50	60	1123	—	308	34	70
6.	Magnesium	Panchromatische Platte des Handels	72	32	54	32	52	308	7,6	58	7,6	49
	Hefnerlampe		90	72	84	54	58	1625	308	934	58	84
7.	Magnesium	Pinaverdolbadeplatte . . .	74	32	54	32	54	371	7,6	58	7,6	58
	Hefnerlampe	,, . . .	88	64	78	50	48	1351	147	536	40	33,5
8.	Magnesium	Pinachromviolett	58	36	48	26	34	84	11	33	4,4	9
	Hefnerlampe	mit Pinaverdol	72	62	68	38	32	308	122	213	13	7,6

gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG
SLUB Wir führen Wissen.

Zwecks genauerer Erkenntnis der wirklichen relativen Farbenempfindlichkeit empfiehlt es sich, die Empfindlichkeitsanzeigen hinter den Farbenfiltern auf die ideale Farbenwirkung mit 100prozentiger Transparenz der Lichtfilter zu berechnen, — wie im folgenden angegeben ist.

Umrechnung
der hinter den farbigen Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers gefundenen relativen Farbenempfindlichkeiten in wahre Farbenempfindlichkeiten bezogen auf ideal transparente Lichftilter[1]).

Man kann die hinter den farbigen Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers (bei Magnesiumlicht) gefundenen und abgelesenen Sensitometergrade dadurch in Sensitometeranzeigen für ideal transparente Lichtfilter (100 Prozent Transparenz) umrechnen, daß man die empirisch gefundenen Sensitometergrade der wahren Farbenempfindlichkeit entsprechend berichtigt und zwar:

a) durch additive Korrekturzahlen;

b) durch multiplikative Faktoren.

Die Additions- und Multiplikationszahlen sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle zur Umwandlung der Sensitometergrade hinter den farbigen Lichtfiltern in wahre Farbenempfindlichkeits-Werte für Eder-Hecht-Sensitometer mit der Keilkonstante 0,4.

Eders Gelatinefilter	Korrektur der Sensitometergrade	Korrektionsfakt. f. d. abgelesenen Empfindlichkeitszahlen
Blaues Filter	+ 12 Grade	3,03
Grünes Filter	+ 20 „	6,35
Gelbes Filter	+ 2 „	1,20
Rotes Filter (bei stark rotempfindlichen, z. B. bei panchromatischen und Pinazyanolplatten usw.)	+ 4 „	1,45
Rotes Filter bei wenig orangeempfindlichen (z. B. Erythrosinplatten)	+ 10 „	2,52

Ad a) Man addiert zu den auf der Platte hinter den farbigen Gelatinelichtfiltern abgelesenen Sensitometergraden die aus der vor-

1) Nach der Publikation Eder, Phot. Indust. 1927. Heft 36.

stehenden Tabelle zu entnehmenden Korrekturzahlen (in Sensitometergraden), die den verschieden großen Transparenzen der verschiedenen Lichtfilter entsprechen. Sodann sucht man in den (jedem Sensitometer beigegebenen) Sensitometer*tabellen* die zu den *verbesserten* Graden gehörigen relativen Empfindlichkeitswerte, die die *wahren* auf ideal transparente Filter bezogenen Empfindlichkeitswerte darstellen.

Beispiel:

Orthochromatischer Film bei Magnesiumlicht.

I. Direkte Ablesung der Sensitometergrade Eder-Hecht hinter den Farbfiltern.

Rot	Gelb	Grün	Blau
4	54	32	64

II. Korrektur für ideal transparente Lichtfilter.

Rot	Gelb	Grün	Blau
4 ∓ 10	$54 + 2$	$32 + 20$	$64 + 12$
$= 14$	$= 56$	$= 52$	$= 76$

III. Wahre relative Farbenempfindlichkeit.

	Rot	Gelb	Grün	Blau
	1,45	70	49	446
oder:	0,003	0,15	0,11	1

Die in der letzten Zeile stehende Zahl 0,11 gibt die wahre relative *Grün*empfindlichkeit, die Zahl 0,15 die wahre relative *Grün*-+ *Gelb*empfindlichkeit an. Beide Zahlen sind auf die gleich 1 gesetzte Blauempfindlichkeit bezogen. Die sehr geringe Empfindlichkeit hinter dem Rotfilter ist für die orthochromatischen Platten charakteristisch. Die Rot-+Grün-+Gelbempfindlichkeit hinter dem Gelbfilter (0,15) charakterisiert gleichzeitig den Grad der Gesamtsensibilisierung.

Häufig findet man bei orthochromatischen Porträtplatten mit Weißlicht (Nitralampe mit Tageslichtfilter) die *wahre* Farbenempfindlichkeit

Gelb	Grün	Blau
0,13	0,13	1

was auf den Typus Erythrosin hinweist.

Diese Umrechnungstabelle samt Anleitung wird von der Aktiengesellschaft für Photographische Industrie, Herlango, Wien, III., Rennweg 52, nunmehr jedem der von ihr erzeugten Sensitometer beigegeben und dadurch die einheitliche Durchführung von Empfindlichkeitsmessungen photographischer Platten erleichtert werden.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Ad b) Man entnehme zunächst den Sensitometertabellen die relativen Empfindlichkeitszahlen, die den hinter den farbigen Lichtfiltern auf der Platte abgelesenen Sensitometergraden entsprechen, und multipliziere diese Werte, die auf die verschieden großen Transparenzen der einzelnen Filter Rücksicht nehmen, mit den in der Tabelle angegebenen Multiplikationsfaktoren; dadurch erhält man die gleichen, auf ideal transparente Lichtbilder bezogenen Empfindlichkeitszahlen, wie bei a. (J. M. Eder: Die Sensitometrie photographischer Platten bezogen auf ideal transparente Lichtfilter. „Photogr. Industrie" 1926, Heft 38.)

Beispiel:

Panchromatische Platte bei Magnesiumlicht.

I. Direkte Ablesung der Sensitometergrade Eder-Hecht hinter den Lichtfiltern.

Rot	Gelb	Grün	Blau
34	48	26	34

II. Relative Empfindlichkeit hinter den farbigen Lichtfiltern.

Rot	Gelb	Grün	Blau
9,2	33,5	4,4	9,2

III. Wahre relative Farbenempfindlichkeit bezogen auf ideal transparente Lichtfilter.

Rot	Gelb	Grün	Blau
$=13{,}3$	$33{,}5\times1{,}2$	$4{,}4\times6{,}35$	$9{,}2\times3{,}03$
$9{,}2\times1{,}45$	$=40$	$=27{,}9$	$=27{,}9$
oder: 0,47	1,4	1	1

Die Zahlen 0,47 und 1 geben die wahren relativen Farbenempfindlichkeiten für Rot-Orange, Grün und Blau an, bezogen auf die gleich 1 gesetzte Blauempfindlichkeit bei Magnesiumlicht. Die Zahl 1,4 gibt die Rot-Orange- + Gelb- und Grünempfindlichkeit und gleichzeitig den Grad der Gesamtsensibilisierung der Emulsion an.

Die Sensitometerproben hinter den blauen, grünen und roten Filtern entsprechen den Farbenauszügen einer Dreifarbenaufnahme und dienen zur Charakteristik der farbenempfindlichen Emulsionen. Das gelbe Lichtfilter läßt Grün, Gelb und Rot in breiter Spektralzone durch und dient

1. zur Beurteilung orthochromatischer Platten hinter strengen Gelbfiltern und der durch diese Filter bewirkten Verlängerung der notwendigen Expositionszeit bei weißem Licht;

2. zum Entzweischneiden des gesamten farbigen Spektrums
   a) in einem Bezirk der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers (Blau und Violett), der hinter dem Blaufilter zur Geltung kommt;
   b) einen Bezirk der optisch wirksamen Strahlen: Rot, Gelb und Grün.

Die mit Hilfe des Gelbfilters im Eder-Hecht-Sensitometer gefundenen wahren Empfindlichkeitswerte charakterisieren somit den Grad der Gesamtsensibilisierung der betreffenden Emulsion. Man drückt diesen Wert am besten als Verhältniszahl aus und zwar bezogen auf den gleich 1 gesetzten wahren Empfindlichkeitswert der Emulsion für Blau, der mit Hilfe des Blaufilters bei Magnesiumlicht ermittelt wurde (sog. „Sensibilisierungsfaktor“).

Beispiele für die Sensitometrie photographischer Platten bei Reduktion auf ideale Transparenz der Lichtfilter und mit verschiedenen Lichtquellen.

Viele vorzügliche orthochromatische Platten des Handels zeigen bei Magnesiumlicht (oder Tageslicht) hinter dem Blau- und Gelbfilter die korrigierte Empfindlichkeitsrelation wie 1:0,4, was für praktische photographische Zwecke genügt. Z. B. zeigt eine gute orthochromatische Platte folgende Sensitometerzahlen, welcher die Empfindlichkeitswerte einer guten gebräuchlichen Handelssorte einer panchromatischen Platte gegenübergestellt sind (Magnesiumlicht).

Plattensorte	Unkorrigierte Ablesung der relativen Farbenempfindlichkeit hinter den Farbenfiltern Eder-Hecht reduziert auf Blau = 1				Reduziert auf ideale Transparenz der Lichtfilter (100% Transmission)				Faktor der Gesamt-Sensibilisierung (korrigiert)
	Blau	Grün	Rot	Gelb	Blau	Grün	Rot	Gelb	
Orthochromat. Platte	1	0,15	—	1	1	0,33	—	0,39	0,39
Panchromatischer Film	1	0,10	0,48	1,75	1	0,23	0,33	0,69	0,69
Panchrom. Platte durch Baden mit Pinachromviolett und Pinaverdol hergestellt . . .	1	0,47	1,2	3,6	1	1	0,6	1,4	1,4

Theoretisch sollte die korrigierte Zahl für die Summe von Grün und Rot dieselbe Ziffer wie die hinter dem Gelbfilter ergeben, jedoch

sind in der Regel Ungenauigkeiten zu konstatieren, welche ihren Grund in der Unvollkommenheit der Farbauslese hinter den Farbenfiltern und dem nicht scharfen Abschneiden der Zonen der Lichtabsorption haben. Diese Fehler beeinträchtigen aber nicht den Wert der Messungen zur Orientierung über die Qualität der farbenempfindlichen Platten.

Übersichtliche Darstellung der Empfindlichkeit photographischer Platten[1]).

Die Prüfungsmethode mit dem Eder-Hecht-Sensitometer mit doppelten Farbfiltern und ihrer Reduktion auf ideale Transparenz hat sich in der praktischen Photographie eingebürgert und es liegen zahlreiche Messungen von Plattenempfindlichkeiten bei weißem Magnesiumlicht vor (Kurt Jacobsohn, Emmermann u. a.).

Bringt man die Versuchsergebnisse mit dem Eder-Hecht-Sensitometer und 2 mg Magnesiumband (Abstand 3 m) in die Form nachstehender Tabelle, so ergibt sich eine sehr gute Übersicht über die charakteristischen Eigenschaften von gewöhnlichen und farbenempfindlichen Platten, die dem Phototechniker die leichte Beurteilung der Anwendungsmöglichkeiten klar macht.

Verwendet man als Vergleichslichtquelle eine Halbwattlampe (Nitralampe), so ergeben panchromatische Platten erheblich größere Empfindlichkeitszahlen im roten, gelben und grünen Licht, wogegen das Blau zurücktritt. Dies kommt dem Phototechniker bekanntlich bei farbentonrichtigen Aufnahmen zugute.

In neuerer Zeit beleuchtet man mitunter photographische Ateliers (auch für Kinoaufnahmen) mit Nitralampen. Dann erweisen sich die panchromatischen Platten als besonders günstig. Um dem Photographen die Beurteilung der praktischen Belichtungszeit zu erleichtern, pflegt man die relativen Empfindlichkeiten für verschiedene Beleuchtungsarten anzugeben (Eder, Emmermann, Jacobsohn u. a.). Zunächst geben wir eine Tabelle der wahren Farbenempfindlichkeit verschiedener photographischer Platten nach eigenen Versuchen Eders.

In dieser Tabelle sind die wirkenden Spektralzonen des Eder-Hecht-Sensitometers in Millionstel Millimetern der Wellenlänge ($\mu\mu$) in Näherungswerten angegeben; man sieht, daß sie sich aneinanderschließen; ferner ist unmittelbar ersichtlich, daß die Summe der Empfindlichkeiten hinter dem grünen und roten Filter annähernd der Gesamtsensibilisierung (hinter dem Gelbfilter) entspricht, wenn man die Blauempfindlichkeit = 1 setzt (für ideale Transparenz).

1) Nach einer Publikation Eders in Phot. Indust. 1928, Heft 27.

Wahre Farbenempfindlichkeit[1]) bei weißem Licht (Magnesiumlicht), bezogen auf die Blauempfindlichkeit = 1 (Eder).

Empfindlichkeit hinter Lichtfiltern, reduziert auf ihre ideale Transparenz von 100% Transmission.

Plattensorte	Blau (330 bis 485 $\mu\mu$)	Grün (485 bis 570 $\mu\mu$)	Rotorange (570 bis äußerstes Rot)	Gelb (Größe der Gesamt-Sensibilisierung[2]) von 485 bis äußerstes Rot)	Gesamtempfindlichkeit bei weißem Licht[3])	Anmerkung
Extrarapidplatte, blauempfindlich (Jodbromsilber)	1	0,06	—	0,02	98° Eder-Hecht 23° Scheiner	750° Hurter u. Driffield, nach Lumière & Jougla)
Orthochromatische Platte, ältere Type	1	0,06	—	0,08	84° E.-H. o. 17° Sch.	
Orthochromatisch rapider Kinofilm (neue Type)	1	0,23	—	0,30	88° E.-H. o. 19° Sch.	
Erythrosin-Badeplatte, ammoniakal.	1	0,5	0,02	0,6	78° E.-H. o. 14° Sch.	
Panchromatisch (alte Type) . . .	1	0,3	0,1	0,45	70° E.-H. o. 12° Sch.	
Panchromatischer Film } neue Typen {	1	0,23	0,33	0,65	86° E.-H. o. 18° Sch.	
„ „ }		0,46	0,83	1,26	86° E.-H. o. 18° Sch.	
Pinaverdol-od. Pinachrom-Badeplatte	1	0,23—0,30	0,1—0,2	0,4—0,5	76° E.-H. o. 14° Sch.	
Pinaverdol- + Pinachromviolett-Badeplatte	1	1	0,6	1,5	60° E.-H. o. 8° Sch.	Photomechan. Platte

1) Effektiver Schwellenwert; 0,2 Dichte über dem Entwicklungsschleier.

2) Sogenannter Sensibilisierungs-Faktor (s. S. 278).

gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB Wir führen Wissen.

Die Angaben bei Verwendung von Magnesiumlicht gelten auch annähernd für den elektrischen Kohlenbogen und für mittleres Tageslicht, sowie für „Tageslicht-Metallfadenlampen".

Es empfiehlt sich, bei der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse die obenstehende Tabelle durch eine andere kleine Tabelle zu ergänzen.

Beispiel:

Verhältnis der Empfindlichkeit photographischer Platten bei verschiedenen Lichtquellen (Eder).

	Magnesiumlicht (offener Kohlenbogen, mittleres Tageslicht)	Nitralampe (gasgefüllte Wolframfaden-lampe mit 0,45 Watt)	Vakuum-Wolfram-lampe (Azetylen-licht)	Hefnerkerze
Gewöhnliche „blauempfindliche" Bromsilbergelatine	1	1	1	1
Panchromatische Platte	1	2—2,5	4,4	5

Es ist selbstverständlich, daß die Gradation, die Schleierbildung usw., wie üblich, nicht außer acht gelassen werden dürfen, aber eine tabellarische Übersicht in der oben vorgeschlagenen Art wird in knapper Form die wichtigsten Behelfe zur Beurteilung der Empfindlichkeit und der Charakteristik der Sensibilisierung photographischer Platten ergeben.

Beispiel der Prüfung einer panchromatischen Porträtplatte vom Jahre 1928 auf ihre Gesamtempfindlichkeit gegen weißes Licht, auf die wahre Farbenempfindlichkeit und auf den Einfluß der Entwicklungsdauer (mit Metolhydrochinon-Entwickler), auf das Gamma und die Schleierbildung [1]).

Gesamtempfindlichkeit gegen Magnesiumlicht
82—84° Eder-Hecht.

Wahre Farbenempfindlichkeit bezogen auf ideal transparente Lichtfilter.

Blau	Grün	Rot	Gelb	(Gesamtsensibilisierung)
1	0,69	0,57	1,44	1,44

Entwicklungsdauer	Gamma	Schleier-Dichte
2 Minuten	0,9	0,05
4 „	1,10	0,10
6 „	1,28	0,15
8 „	1,46	0,25

Eine wertvolle Zusammenstellung der sensitometrischen Eigenschaften einer Reihe von Handelsprodukten der Emulsionsfabrikate aus dem Jahr 1928 gab Kurt Jacobsohn auf Grund seiner eigenen mit dem Eder-Hecht-Sensitometer und mit der von Eder vorgeschlagenen Prüfungsmethode; diese nach dem einheitlichen Prüfungsgang ermittelten Empfindlichkeitswerte, die meistenteils in der

1) Nach K. Jacobsohn (Phot. Ind. 1928, S. 783).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

„Photogr. Industrie“ veröffentlicht wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt.

Farbenempfindlichkeit bei weißem Licht (Magnesiumlicht), bezogen auf die Blauempfindlichkeit = 1 (nach K. Jacobsohn).

Empfindlichkeit hinter Lichtfiltern, reduziert auf ihre ideale Transparenz von 100%.

	Blau	Grün	Rotorange	Gelb			
	(330 bis 480)	(485 bis 570)	(570 bis äußerstes Rot)	(Größe der Gesamtsensibilisierung von 480 bis äußerstes Rot.) Sensibilisierungsfaktor.	Gesamtempfindlichkeit bei weißem Licht E. H.		Sch.
Panchromatische Filme.							
Agfa-Superpan	1	0,57	0,80	1,4	94°	=	22°
Agfa-Panike-Film (Type E)	1	0,33	0,83	1	88°	=	19°
Eastman-Panchromatic Negativfilm (Type I)	1	0,33	0,83	1	80°	=	15°
Eastman-Panchromatic-Negativfilm (Type II)	1	0,33	1	1,2	90°	=	20°
Orthochromatische Filme:							
Gevaert-Spezial . . .	1	0,23	—	0,23	88°	=	19°
Zeiß-Ikon-Nox	1	0,48	—	0,83	92°	=	21°
Agfa-Porträt	1	0,19	—	0,09	90°	=	20°
Rollfilme:							
Satrap-Rollfilm . . .	1	0,22	—	0,18	80°	=	15°
Hauff-Rollfilm	1	0,15	—	0,13	84—86°	=	17—18°
Packfilme:							
Satrap-Packfilm . . .	1	0,04	—	0,06	78°	=	14°
Hauff-Packfilm . . .	1	0,15	—	0,13	84—86°	=	17—18°
Panchromatische Plattenfilme:							
Eastman-Panchromatic-Film	1	0,33	0,48	0,7	86°	=	18°
Photomechanische Platten:							
Kranz VIII Platte . .	1	0,49	—	0,54	48°	=	3°
Panchromatische Reproduktionspl. „Argus“.	1	0,48	0,28	0,83	48—50°	=	3—4°

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

	Blau (330 bis 480)	Grün (485 bis 570)	Rotorange (570 bis äußerstes Rot)	Gelb (Größe der Gesamtsensibilisierung von 480 bis äußerstes Rot.) Sensibilisierungsfaktor.	Gesamtempfindlichkeit bei weißem Licht E. H.	Sch.
Panchromatische Platten:						
PanchromatischeSatrap-Platte	1	0,32	0,20	0,60	78—80°	= 14—15°
Perutz-Perchromo-B-Platte	1	0,69	0,83	1,44	70—72°	= 11—12°
Ilford-Panchromatic-Platte	1	0,57	0,83	1,20	86°	= 18°
Orthochromatische Platten:						
Satrap-Braunschicht-Platte	1	0,33	—	0,48	78°	= 14°
Hauff-Analo-Flavin . .	1	0,48	—	0,39	86°	= 18°
Hauff-Ulcroma	1	0,33	—	0,39	92°	= 21°
Agfa-Andresa-Platte .	1	0,39	—	0,57	96—98°	= 23—24°
Eisenberger Flavirid-Platte	1	0,57	—	0,83	84°	= 17°
Gebhardts ortholicht-hoffreie Momentplatte	1	0,23	—	0,20	86°	= 18°
Gevaert-Sensima-Super-Spezial	1	0,56	—	0,6	96°	= 23°
Kranz-Ultra-Ortho . .	1	0,27	—	0,33	96—98°	= 23—24°
Mimosa-Orthochromat.	1	0,23	—	0,33	86°	= 18°
Lomberg-Elochrom . .	1	0,22	—	0,27	82°	= 16°
Kranz I Platte Ortho-moment	1	1	0,04	1,44	82—84°	= 16—17°
Kraco-Ortho-Platte . .	1	1	—	1,2	80°	= 15°
Eisenberger Extra-Rapid-ortholichthoffrei.	1	0,40	—	0,40	84—86°	= 17—18°
Eisenberger Extra-Rapid	1	0,13	—	0,15	84—86°	= 17—18°
Herzog-Ortho-Braun .	1	0,11	—	0,13	80—86°	= 15—18° [1])
Gevaert-Sensima-Ortho	1	0,33	—	0,40	88°	= 19°
Gevaert-Super-Sensima-Ortho	1	0,60	—	0,60	92°	= 21°

1) Die in der Sensitometrie übliche Entwicklungszeit von 5 Minuten reicht nicht aus, um die Platte bis zum „Schwellenwert“ zu entwickeln. Denn bei 5 Minuten ergibt sie nur 15° Sch., bei längerer Entwicklung (ca. 10 Minuten) hingegen 18° Sch.

Einteilung der orthochromatischen Platten in vier Gruppen nach Kurt Jacobsohn (Phot. Industr., März 1929). Auf Grund zahlreicher Untersuchungen von orthochromatischen Platten mit dem Eder-Hecht-Sensitometer mit Magnesiumlicht kommt Jacobsohn zu dem Ergebnisse, daß die orthochromatischen Platten des Handels etwa in vier Gruppen eingeteilt werden: in höchst farbenempfindliche, in gut farbenempfindliche, in mittelfarbenempfindliche und in schlecht farbenempfindliche Emulsionen. Bei den höchst orthochromatischen Emulsionen reicht die Schwärzung unter dem Gelbfilter des Sensitometers E. H. weiter als unter dem Blaufilter und zwar im Mittel etwa um 10°. Für die Gesamtsensibilisierung, die sich bei dem Eder-Hecht-Sensitometer aus dem Verhältnis Blau : Gelb ergibt, wird in diesem Fall bei der Umrechnung auf idealtransparente Filter ein Wert erhalten, der gleich oder größer als 1 ist. In einer Farbtafelaufnahme der Höchster Farbwerke auf einer derartigen Emulsion wird Gelb merkbar heller als Blau wiedergegeben. Es wird sich bei diesen Emulsionen in den meisten Fällen um solche handeln, die zur Dämpfung der Blauempfindlichkeit einen gelben Schirmfarbstoff in der Schicht tragen.

Bei der zweiten Klasse von orthochromatischen Emulsionen, den „gut farbenempfindlichen", reicht hinter dem gelben und blauen Filter des Sensitometers die Schwärzung ungefähr gleich weit. Die Gesamtsensibilisierung erreicht einen etwa bei 0,5 liegenden Wert. In einer Farbtafelaufnahme erscheinen Blau und Gelb gleich hell. Die „mittel farbenempfindlichen" Emulsionen sind dadurch gekennzeichnet, daß die Schwärzung hinter dem blauen Filter weiter geht als hinter dem gelben Filter, und zwar um etwa 10° E. H. Die Gesamtsensibilisierung liegt in diesem Fall bei 0,2, in einer Farbtafelaufnahme ist Gelb dunkler als Blau.

Bei den hier als „schlecht farbenempfindlich" bezeichneten Emulsionen könnte es zweifelhaft sein, ob diese überhaupt noch die Bezeichnung „farbenempfindlich" verdienen. Es ist hinter dem Gelbfilter des Sensitometers nur noch eine schwache Schwärzung zu beobachten, die Gesamtsensibilisierung beträgt nur zirka 0,005 und in einer Farbtafelaufnahme wird Gelb bedeutend dunkler als Blau wiedergegeben, nahezu schwarz. Wenn man derartige Emulsionen trotzdem hier berücksichtigt, so geschieht dies deshalb, weil sie sich als „farbenempfindlich" im Handel befinden und hier keine Entscheidung darüber getroffen werden soll, ob sie es tatsächlich sind. Ebensowenig darf die Ansicht aufkommen, daß Bezeichnungen, wie „höchstfarbenempfindlich" usw., ohne weiteres eine Qualitätsangabe bedeuten. Beispielsweise kann eine „gut farbenempfindliche" Platte in der Praxis dasselbe leisten wie eine höchstfarbenempfindliche, nur muß man sie naturgemäß mit einem etwas strengeren Gelbfilter verwenden. Dafür ist aber vielleicht die Farbenempfindlichkeit von vornherein eine höhere als die der „höchstfarbenempfindlichen" (einen Schirmfarbstoff enthaltenden) Emulsion und so kommt man in beiden Fällen zu der gleichen Belichtungszeit.

Sensitometrie farbenempfindlicher Platten bei verschiedenen Lichtquellen.

In weiterer Ausführung der auf Seite 421 gegebenen Darstellung seien mehrere andere Beispiele gegeben:

Nimmt man die Prüfung einer panchromatischen Platte hinter den Lichtfiltern des Eder-Hecht-Sensitometers bei verschiedenen elektrischen Lichtquellen vor, so ergeben sich naturgemäß Differenzen in der Relation Blau-, Grün-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

und Rotempfindlichkeit. Es empfiehlt sich bei solchen Vergleichen die Umrechnung auf ideale, wahre Farbenempfindlichkeit (reduziert auf 100% Transparenz) (s. S. 421) vorzunehmen, wodurch die Übersichtlichkeit erhöht wird. Solche Vergleiche machte C. Emmermann (Kinotechnik 1928) mit „Agfa-Superpan-Platten“ (Kinotechnik, 1927, S. 243). Setzt man wahre Farbenempfindlichkeit dieser panchromatischen Platten für blaues Lichtfilter = 1, so ergeben sich folgende relative Werte der Farbenempfindlichkeit:

Lichtart	Grünfilter	Rotfilter	Blaufilter	Gelbfilter (Gesamt-Sensibilisierung in Grün + Gelb + Rot)
Halb-Watt-Lampe m. Tageslichtfilter	0,57	0,40	1,0	1,0
Kohlen-Bogenlicht	0,47	0,57	1,0	1,0
Halbwattlicht	1,74	2,52	1,0	4,39
Metallfadenlicht	1,74	3,65	1,0	5,39

Diese Zahlen geben ein Bild der verschiedenartigen spektralen Zusammensetzung der verschiedenen Lichtquellen, die sich in analoger Weise bei der Bestimmung der Expositionszeiten in der Dreifarbenphotographie geltend machen.

Um zu erkennen, um wievielmal empfindlicher der panchromatische Superpanfilm Agfa gegenüber dem gewöhnlichen Kinonegativfilm ist, gibt Emmermann (a. a. O.) folgende Tabelle:

Lichtart	Empfindlichkeit des Superpan-Films in		Empfindlichkeitserhöhung des Superpan-Film gegenüber gewöhnlichem Negativfilm von 17° Scheiner
	Eder-Hecht-Graden	Scheiner-Graden	
Künstl. Weißlicht . .	102	24	5,3 fach
Bogenlicht	102	24	5,3 fach
Halbwattlicht	104	24,7	6,3 fach
Metallfadenlicht . . .	106	25,5	7,6 fach

Sensitometrische Prüfung der in der Reproduktionsphotographie verwendeten Bromsilberkollodien.

Bromsilberkollodium-Emulsionen prüft man wegen ihrer geringeren Empfindlichkeit mit 2 mg Magnesium im Abstande von ⅓ m, das ergibt eine 81mal größere Lichtmenge. Es ergeben sich nach Eder z. B. folgende Werte, die auf ideale Transparenz der Lichtfilter Eder-Hecht umgerechnet sind.

Plattensorte	Unkorrigierte Ablesung Empfindlichkeit hinter den Filtern				Korrigiert auf ideale Transparenz. — Wahre Empfindlichkeit hinter den Filtern			
	Blau	Grün	Gelb	Rot	Blau	Grün	Gelb	Rot
Bromsilberkollodium mit Zusatz von Eosinsilber .	1	1	5,2	0,6	1	2,1	2,1	0,4
Bromsilberkollodium mit Pinachromblau	1	0,1	4,4	3,3	1	0,2	1,7	1,5
Reine Bromsilberkollodiumemulsion ohne Farbstoffzusatz	1	—	0,34	—	1	—	0,4	—

Aus diesen Befunden geht die sensitometrische Bestätigung der jedem Reproduktionsphotographen bekannten Tatsachen hervor, daß das Bromsilberkollodium sich mit Eosinfarbstoffen viel gewaltiger gegen Grün-Gelb sensibilisieren läßt, als die Bromsilbergelatine. Andererseits zeigt sich, daß Pinachromblau schlecht für Grün sensibilisiert, aber eine gute Rotempfindlichkeit aufweist, jedoch nicht „panchromatisch" wirkt.

Diese Beispiele genügen für die Einführung der sensitometrischen Prüfungsmethoden farbenempfindlicher Platten.

Untersuchung, wie der Farbensensibilisator die Blau-Empfindlichkeit beeinflußt. Hyper-Sensibilisierung.

Bei der sensitometrischen Prüfung von Farbensensibilisatoren achte man darauf, daß manche Farbstoffe die Gesamtempfindlichkeit gegen weißes Licht herabdrücken können, wenn auch eine relativ gesteigerte Empfindlichkeit für den roten Spektralbezirk eintritt.

Dies wird offenkundig, wenn man z. B. mit dem Eder-Hecht-Sensitometer gleichzeitig die reine Bromsilbergelatineplatte und die mit derselben Plattensorte im Farbstoffbade sensibilisierte Platte bei Magnesiumlicht vergleicht[1]). Man kann hierbei z. B. finden, daß ein Farbstoffbad (nach dem Trocknen) die Gesamtempfindlichkeit etwas herabdrückt, während dasselbe Farbstoffbad mit Zusatz von Ammoniak die Gesamtempfindlichkeit beträchtlich steigert, und daß man durch Zusatz von ammoniakalischer Silberlösung eine gewaltige Sensibilisierung erzielen kann, welche die Belichtungszeit bei Momentaufnahmen etwa auf das 5 fache erhöht, während man durch angemessene Vorbelichtung die Empfindlichkeit auf zirka das 10 fache der ursprünglichen erhöhen kann. — Dies gilt für weißes Licht. Zerlegt man aber das Licht durch Farbenfilter, so findet man, daß die wahre Grünempfindlichkeit hierbei um das 4,4 fache, die wahre Rotempfindlichkeit um das 23 fache erhöht wurde, und die Blauempfindlichkeit ein wenig gestiegen ist und nunmehr dieselbe ist, wie die der ungefärbten Mutteremulsion (Versuchsplatte). Diese Verhältnisse wurden von Lüppo-Cramer, sowie von Kurt Jacobsohn u. a. untersucht; namentlich bei hypersensibilisierten Platten gewinnen diese Erscheinungen Bedeutung, weil sie auf die

1) Zur Kompensierung des „Wasser-Effektes" badet man die Kontrollplatte in reinem Wasser ebensolange wie die zu sensibilisierende im Farbstoffbade.

Sensibilisierung	Allgemeinempfindlichkeit		Rot		Grün		Gelb (Gesamtsensibilisierung)		Blau	
	Grade Eder-Hecht	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit
1. Nicht behandelter Kontrollstreifen .	74	1	50	1	32	1	56	1	—	—
2. Pinachrom-Pinachromviolett . . .	68	0,6	42	0,5	32	1	58	1,1	40	1
3. do. + 1% NH_4OH	82	2	50	1	48	4,4	82	11	74	23
4. do. + 3% NH_4OH	90	4,4	56	1,7	58	11	90	23	84	58
5. do. + 3% NH_4OH + 0,025% AgCl	94	6,3	60	2,5	64	19	94	34	86	70
6. Wie 5. behandelt und vorbelichtet .	102	13	68	5,3	72	40	102	70	94	147
7. Agfa-Superpan	94	6,3	60	2,5	62	16	94	34	88	84

Sensibilisierung	Allgemeinempfindlichkeit		Blau		Grün		Gelb (Gesamtsensibilisierung)		Rot	
	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit	Grade E-H	Rel. Empfindlichkeit
1. Nicht behandelter Kontrollstreifen .	74	1	50	1	32	1	56	1	—	—
2. Agfa-Pan	68	0,6	38	0,3	30	0,8	54	0,8	58	1
3. Pan ausgewässert	74	1	40	0,4	34	1,2	76	6,3	64	1,7
4. 4% NH_4OH	84	2,5	48	0,8	46	3,6	82	11	74	4,4
5. 4% NH_4OH + 0,025% AgCl . . .	92	5,3	56	1,7	60	13,4	88	19,3	78	6,3
6. Wie 5. behandelt und vorbelichtet .	100	11	64	3,6	68	28	96	40	86	12,7
7. Agfa-Superpan	94	6,3	60	2,5	62	16	94	34	86	12,7

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

relative Aktinität der Lichtquellen zurückwirken (Phot. Ind. 1928, S. 58). Über die Vorschriften zu Hypersensibilisierung und das Verhalten gegen verschiedene Lichtquellen s. S. 427.

Diese Prüfungs- und Berechnungsmethode hat sich auch in der Kinematographie eingebürgert, wie eine Versuchsreihe mit farbenempfindlichen Platten mit Magnesiumlicht und dem Eder-Hecht-Sensitometer von Kurt Jacobsohn (Phot. Ind. 1928, S. 58), die in der Tabelle, S. 427, veranschaulicht ist, zeigt.

Die auf ideal transparente Lichtfilter reduzierte relative Empfindlichkeit hinter Gelbfiltern gibt den Sensibilisierungsfaktor für die gesamte optische Sensibilisierung.

Im selben Sinne ist die Tabelle Jacobsohns, S. 427, zusammengestellt (Eder-Hecht-Sensitometer mit Magnesiumlicht), welche hypersensibilisierte panchromatische Platten zum Gegenstande hat. Als Einheit ist die Empfindlichkeit der reinen Bromsilberplatte, die dem Ausgangspunkt der Versuche bildete, gegen Magnesiumlicht mit 74 Grade Eder-Hecht = 1 gesetzt (ohne Lichtfilter).

Als Beispiel einer derartigen sensitometrischen Messung des Effektes der Hypersensibilisierung von mit Kryptozyanin rotempfindlich gemachten Platten mit dem Eder-Hecht-Sensitometer bei Halbwatt-Licht sei folgendes Versuchsergebnis von Kurt Jacobsohn (Phot. Ind. 1927, Heft 48) angeführt:

In der ersten Zeile sind die sensitometrischen Werte des Original-Kryptozyanin-Films angegeben, in der zweiten die Empfindlichkeitssteigerung nach dem Baden mit verdünntem Ammoniak.

	Allgemeinempfindlichkeit E. H.		Lichtfilter des Eder-Hecht-sensitometers Blau		Grün		Rot		Gelb (Gesamtsensibilisation)	
Nicht behandelt . .	80	1 : 3	52	1 : 1	36	1 : 2,5	58	1 : 5	68	1 : 3,4
Mit 1%iger Ammoniak behandelt	92		52		46		76		82	

Hinter dem Blaufilter war also in diesem Fall eine Empfindlichkeitserhöhung nicht eingetreten, während die Empfindlichkeit für Grün und besonders für Rot beträchtlich gesteigert wurde.

Diese Beispiele der Verwendung dieses Prüfungssystems geben ein klares Bild der Ermittlung der für eine farbenempfindliche Platte charakteristischen Größen; dazu kommt noch die dazugehörige spektrographische Prüfung, die in Tafel VI illustriert ist.

Sensitometrische Prüfungen bei einer elektrischen Glühlampe mit Tageslichtfilter.

Das Eder-Hecht-Sensitometer kann auch mit einer Halbwattlampe mit Tageslichtfilter zur Prüfung farbenempfindlicher Platten verwendet werden, wie dies z. B. C. Emmermann mit folgender Versuchsanordnung machte. Als Lichtquelle diente eine Halbwattlampe von 6 Volt (Automobillampe), die mit genau 10% Überspannung brannte und mit Hilfe eines sprunglosen Widerstandes unter Kontrolle durch ein Drehspulenvoltmeter einreguliert wurde.

Als Stromquelle fand ein vierzelliger Blei-Akkumulator Anwendung. Durch ein bläuliches „Tageslichtfilter“ wurde das Licht der Halbwattlampe in seiner spektralen Zusammensetzung der des mittaglichen Juni-Sonnenlichtes so nahe angeglichen, als es praktisch möglich war. Der Anschluß an das Eder-Hechtsche System der Sensitometrie wurde durch wiederholte Sensitometrierung von nicht farbenempfindlichen reinen Bromsilbergelatineplatten herbeigeführt, deren Empfindlichkeit mit dem Scheiner-Sensitometer (oder dem Eder-Hecht-sensitometer) und unter Verwendung der Hefnerlampe als Normallichtquelle festgestellt worden war. Dann wurde eine panchromatische Platte mit der reinen Bromsilbergelatineplatte bei der elektrischen Halbwattlampe mit Tageslichtfilter vergleichend exponiert und entwickelt. Z. B. zeigte der panchromatische Film eine Empfindlichkeit von 102 Graden Eder-Hecht, gegenüber der Empfindlichkeit der gewöhnlichen Bromsilbergelatine von 84° E. H. Dasselbe Resultat gab weißes offenes Kohlen-Bogenlicht, während das ungefilterte Halbwattlicht eine Empfindlichkeitsanzeige von 104° und Metallfadenlicht 106° ergab. — Die Empfindlichkeitserhöhung gegenüber der reinen Bromsilbergelatine durch die Panchromasie beträgt also gegenüber dem künstlichen Tageslicht-Weißlicht (ebenso beim Kohlenbogenlicht) das 5,3fache, beim Halbwattlicht das 6,2fache und beim Metallfadenlicht das 7,6fache (Emmerman, Filmtechnik, 1927. S. 245). — Genauer ist die Reduktion künstlicher Lichtquellen auf mittleres Sonnenlicht, s. Seite 339.

Sensitometrische Prüfung von Auskopierpapieren.

Dies kann mit demselben Sensitometer Eder-Hecht mit der Keilkonstante 0,4 vorgenommen werden. Will man eine größere Anzahl von Papierproben gleichzeitig auf ihre relative Empfindlichkeit vor und nach dem Fixieren (Tonen) prüfen, so bedient man sich vorteilhaft einer durchlaufenden Skala, wie sie auf S. 403 beschrieben wurde. Man kann den Schwellenwert, die Gradation, den Kopierumfang, das Zurückgehen der Schwärzung beim Fixieren leicht bestimmen; dies wurde im VI. Kapitel näher ausgeführt.

IV. Zusammenfassung der Verwendbarkeit des Graukeil-Sensitometers.

Das Graukeil-Sensitometer mit Farbskala kann somit verwendet werden zur

1. Bestimmung der Allgemein-Empfindlichkeit gegen weißes Licht mittelst Magnesiumlicht (Mittel der Werte von 5 bis

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

6 Proben). Beim Auftreten stärkerer Schleier liest man den Schwellenwert an der Sensitometerskala an jener Stelle ab, wo die Schwärzungskurve sich deutlich (etwa mit der Dichte 0,1 oder 0,2) über den Schleier erhebt.

Oder man verwendet das Licht von „Tageslicht-Lampen“ unter Benutzung einer nicht farbenempfindlichen Sorte von Bromsilber-Gelatine-Platten, deren Empfindlichkeit nach Eder-Hecht oder Scheiner zuvor festgestellt worden war.

Am besten ist die Reduktion des Magnesiumlichtes auf mittleres Mittags-Sonnenlicht durch Vorschalten eines geeigneten Kupfer-Kobalt-Lichtfilters (s. S. 339 und 346) oder, als Ersatz, die Reduktion des Magnesiumlichtes auf Sonnenlicht nach der Umrechnungs-Tabelle auf Seite 350.

2. Die Farbenempfindlichkeit wird mit Magnesiumlicht oder gefiltertem Magnesiumlicht (s. sub 1) festgestellt, die Anzeigen werden auf ideal transparente Lichtfilter umgerechnet und das Verhältnis der Anzeige hinter dem Grün-, Gelb- und Rotfilter auf die Blauempfindlichkeit bezogen. Die Anzeige hinter Blauempfindlichkeit wird = 1 gesetzt.

   Das Verhältnis von Blau und Gelb ergibt die Gesamt-Sensibilisierung.

3. Bestimmung der Gradation bei Magnesium (Mittel der Werte von Gamma) mit Variationen der Entwicklungsdauer.

   Die Gradation wird mittelst eines Densographen unter Benützung eines Graukeiles bestimmt, und zwar mit verschieden lang entwickelten Platten, die z. B. 3, 6, 9 und 12 Minuten Entwicklungsdauer bei 18 Grad Celsius haben. — Die den verschiedenen Entwicklungszeiten entsprechenden Schwärzungen sind graphisch in Schwärzungskurven und die Gammawerte und die Schleierdichten zahlenmäßig in Tabellen auszudrücken.

4. Messung des Schleiers mit dem Martensschen- oder dem Mikro-Photometer. Schleier von der Dichtigkeit 0,2 sind nicht störend, von 0,3 sind mittelmäßig, von 0,6 bis 0,7 gelten als starke Schleier (s. Kapitel X).

5. Vergleichende Parallel-Versuche bei gleichzeitiger Belichtung zweier Plattenproben mit Abschätzung der Empfindlichkeit und Gradation bei diffusem Lichte mit freiem Auge.

6. Konstruktion der Schwärzungskurve mit Densometern und Bestimmung der Inertia. — (Siehe Kapitel V.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

7. Bestimmung des Schwarzschildschen Exponenten p (s. S. 176).
8. Beurteilung, ob gewöhnliche, blauempfindliche Platten oder orthochromatische (grün- und gelbempfindliche) oder panchromatische Platten (grün-, gelb- und rotempfindliche) Platten vorliegen. — Eventuelle Kontrolle mit dem Spektrographen, am besten bei Sonnenlicht.
9. Reduktion bei Anzeigen der farbigen Gelatine-Filter auf ideale Transparenz (s. Seite 415).
10. Bestimmung des Filter-Faktors von Gelbscheiben und Dreifarben-Filtern (event. in der Aufnahme-Kamera für gegebenes Licht). (S. Seite 268.)
11. Prüfung der photographischen Lichtwirkung (Aktinität) verschiedener Lichtquellen (s. Seite 253).
12. Prüfung der Wärmewirkung bei Filmen auf die Haltbarkeit. Man erwärmt den Film etwa 8 Tage lang in Metallkästchen bei konstanter Wärme von 50° C. — Man prüft von Zeit zu Zeit sensitometrisch auf Schleier.

Bei sehr genauen Untersuchungen ist der Schwellenwert der Solarisation und Lichthofbildung, ferner das Korn und das Auflösungsvermögen der Emulsion anzugeben.

V. Eder-Hechts Kopierphotometer zur Kontrolle der richtigen Kopierzeit in der photographischen Praxis.

Zur Kontrolle der richtigen Kopierzeit beim Pigmentdruck, Gummidruck usw. bedient man sich mit Vorteil eines kleinen handlichen Graukeilphotometers vom Formate 2 × 12 cm und einer Keilkonstante 0,3 und einer Skaleneinteilung von 5 zu 5 mm. Diese weitläufige Skala erleichtert in praktischen Betrieben dem Kopisten das rasche Ablesen. Abb. 136 zeigt die Form und Anordnung dieses von Herlango in Wien III. fabrizierten Instrumentes. Ein zweiteiliger Deckel preßt die Photometerpapiere an die Skala und ermöglicht das Nachsehen auf dem sensiblen Papier.

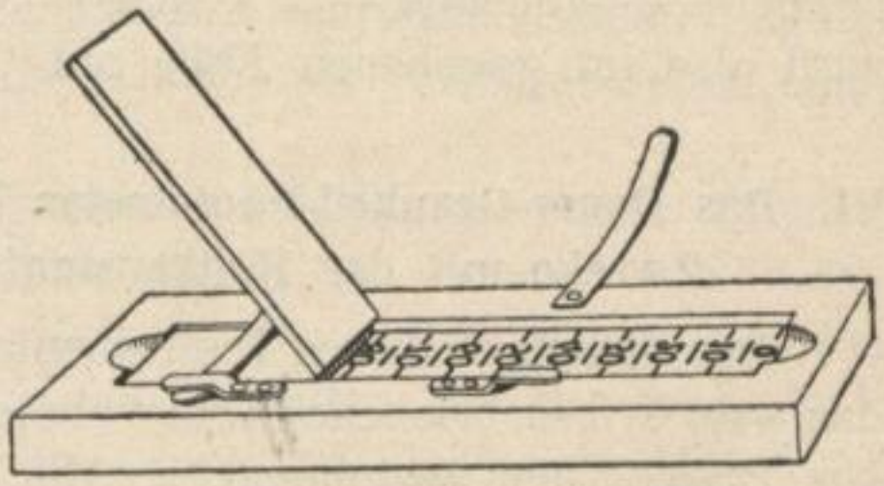


Abb. 136. Kopier-Photometer Eder-Hecht.

Nachstehende Tabelle enthält die Skalenwerte des Kopierphotometers und die von 5 zu 5 Skalengraden „angezeigten Lichtmengen“, im Sinne der in der photographischen Praxis gebräuchlichen Terminologie.

Tabelle der angezeigten Lichtmenge im Eder-Hechtschen Kopierphotometer.

(Keilkonstante = 0,3.)

5	0,7	35	5,8	65	47	95	389
10	1,0	40	8,2	70	67	100	553
15	1,4	45	11,6	75	95	105	785
20	2,0	50	16,6	80	136	110	1117
25	3,0	55	23,6	85	193	115	1590
30	4,1	60	33,4	90	274	120	2250

Will man beim Pigmentprozeß die wirkende Lichtmenge kontrollieren, so beschickt man das Photometer mit Kaliumbichromatpapier und kopiert für schwache Negative auf ungefähr 55°, für mittlere auf 65° bis 70°, für sehr dichte Negative etwa auf 80° bis 90° des Kopierphotometers, was ungefähr 8°, 12°, 14° bis 16° des Vogelschen Papierskalenphotometers (s. S. 3) entspricht. Pigmentdiapositive kopiert man z. B. auf ungefähr 100° des Eder-Hechtschen Graukeil-Kopierphotometers.

Die Ermittlung der wirkenden Lichtmenge ist einfach:

Soll beispielsweise ein Negativ, das sich bei 60° als zu wenig kopiert erwiesen hat, mit der doppelten Lichtmenge kopiert werden, so kopiert man auf 70 Eder-Hechtgrade des Kopierphotometers. Nach der Tabelle zeigt nämlich Grad 60 die Lichtmenge = 33,4 an, die doppelte Lichtmenge = $2 \times 33{,}4 = 66{,}8$ führt zur Gradzahl 70; man wird also im gegebenen Falle auf Grad 70 kopieren.

VI. Das Dauer-Graukeil-Photometer Eder-Hecht für wissenschaftliche Zwecke mit der Keilkonstante 0,3 und 16 cm Länge.

Der Graukeil dieses Instruments hat die Keilkonstante 0,3, wie das sub V beschriebene Kopierphotometer, aber eine engere Skala, von 2 zu 2 mm ansteigend, s. Abb. 137, und umfaßt wegen seiner größeren Länge von 16 cm einen viel größeren Lichtumfang.

Es dient hauptsächlich zu Helligkeitsmessungen von Tageslicht zu meteorologischen und klimatologischen Zwecken.

Zur Messung der chemischen Wirkung des Tages- und Sonnenlichtes für meteorologische Zwecke usw. bedeckt man das Dauerphotometer mit einer beiderseits mattierten Milchglasplatte, deren Lichtabsorption man kennt und in Rechnung setzt. Das Instrument wird in regensicherer Metallbedeckung horizontal dem Tageslicht

ausgesetzt. Man kann die kopierten Papiere im Fixierbad (1:10) fixieren, den Ziffernverlust notieren und dann aufbewahren. — Besser ist ein Fixierbad mit einem Zusatz von 1% wasserfreiem Natriumsulfit (15 Min. lang) zu verwenden, weil die zartesten Töne weniger angegriffen werden; 100 ccm genügen für acht Kopien 9×12 cm.

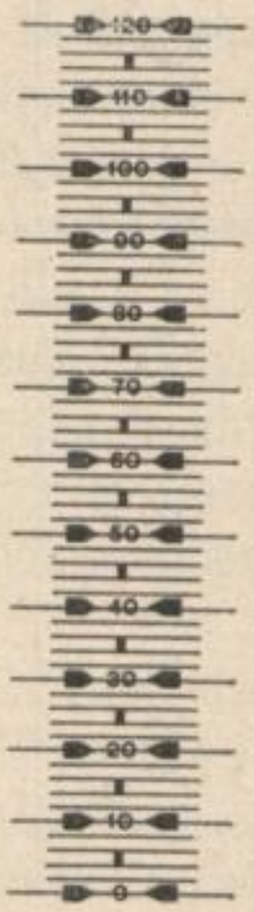


Abb. 137. Präzisionsskala zum Kopierphotometer.

Für Zwecke der Meteorologie und Botanik werden mitunter noch die Bunsen-Roscoëschen Lichteinheiten, bezogen auf eine gewisse Normalschwärze, angegeben.

Nachfolgende Tabelle gibt die relativen Lichtmengen und die, allerdings nur in ungefährer Annäherung gültigen, Lichtmengen in Bunsen- und Roscoëschen Einheiten an.

Für letztere Angaben muß man das Photometer mit frisch gesilbertem Bunsenschen Normal-Chlorsilberpapier beschicken, oder man bedient sich des Eder'schen Chlorsilber-Gelatine-Emulsionspapiers (s. S. 125).

Diese Type des Eder-Hechtschen Photometers mit der Keilkonstante 0,3, dem Ederschen Normal-Chlorsilberpapier und mit Lichtdiffusoren von mattiertem Milchglas (auf seine Lichttransmission geeicht) in wettersicheren Kästchen wird für die Ausrüstung von klimatologisch-therapeutischen Beobachtungsstationen und zur Beurteilung alpiner klimatisch-therapeutischer Beobachtungsstationen als wichtiger Behelf empfohlen [1]).

C. Dorno in Davos (Schweiz) stellte fundamentale Studien über die Sonnen- und Himmelslichtstrahlung an. (Dorno, „Klimatologie im Dienste der Medizin", Heft 50 der „Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und Technik". Braunschweig, Vieweg & Sohn. 1920. — Ferner Dorno, „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung, ebenda 1919).

Dorno, der in seiner „Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung" ein grundlegendes Werk geschaffen hat, befaßt sich mit den Heilwirkungen des Lichtes in seinem vortrefflich ausgerüsteten Observatorium in Davos und legt die Ergebnisse seiner Forschung speziell

1) V. Conrad u. W. Hausmann, „Meteorologische Gesichtspunkte bei der Beurteilung alpiner klimatisch-therapeutischer Ortslagen" (Mitt. d. Volksgesundheitsamtes im „Österr. Bundesminist. f. soziale Verwaltung" 1928).

Angezeigte Lichtmenge im Eder-Hechtschen Graukeilphotometer (Keilkonstante = 0,305).

Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten
2	0,57	0,622	82	157,0	171,4
4	0,66	0,716	84	180,0	196,6
6	0,76	0,826	86	207,0	226,0
8	0,87	0,949	88	238,3	260,2
10	1,00	1,092	90	274,2	299,4
12	1,157	1,263	92	316,3	345,4
14	1,32	1,446	94	364,0	397,5
16	1,52	1,664	96	419,0	457,6
18	1,75	1,912	98	480,9	525,1
20	2,02	2,203	100	553,4	604,3
22	2,32	2,535	102	636,8	695,4
24	2,67	2,917	104	732,9	800,3
26	3,07	3,356	106	843,3	921,0
28	3,54	3,863	108	970,5	1060
30	4,07	4,444	110	1117	1220
32	4,68	5,108	112	1286	1404
34	5,39	5,876	114	1480	1616
36	6,20	6,768	116	1700	1856
38	7,14	7,794	118	1959	2139
40	8,21	8,967	120	2249	2456
42	9,45	10,32	122	2631	2873
44	10,87	11,87	124	2986	3261
46	12,50	13,65	126	3476	3796
48	14,40	15,73	128	3945	4308
50	16,56	18,08	130	4440	4848
52	19,06	20,81	132	5224	5705
54	21,93	23,95	134	6027	6581
56	25,24	27,56	136	6910	7546
58	29,04	31,71	138	7962	8695
60	33,42	36,50	140	9163	10010
62	38,38	41,91	142	10550	11520
64	44,26	48,33	144	12140	13260
66	50,81	55,49	146	13960	15240
68	58,62	64,01	148	16070	17540
70	67,46	73,67	150	18450	20150
72	77,70	84,85	152	21280	23240
74	89,33	97,55	154	24600	26860
76	102,8	112,3	156	28200	30790
78	118,4	129,3	158	32510	35500
80	136,2	148,7	160	37330	40760

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

für Mediziner und Meteorologen in dem oben erwähnten Buche nieder. Auch der Photochemiker wird es bei seinen Studien über den Aktinismus des Sonnenlichtes mit Erfolg benützen. Die Meßmethode und das Instrumentarium der Sonnenstrahlung, die Wärme-, Helligkeits- und ultraviolette Strahlung sind von Dorno exakt geschildert, ebenso die physiologische und therapeutische Verwendbarkeit des spektral zerlegten Lichtes. Sehr bemerkenswert ist das Kapitel über die photographischen Meßmethoden. Er bespricht die Wiesnersche Methode mit dem Normalgrau, welche aber viele Mängel hat und weist auf die Fortschritte der photographischen Lichtmessung mit dem Eder-Hechtschen Graukeilphotometer in Kombination mit dem von Herlango erzeugten Normalchlorsilberpapier hin.

J. M. Eder führt in „Phot. Korr." 1921, S. 171, über das Graukeilphotometer zu klimatischen Vergleichungsmessungen der Lichtmengen aus, daß C. Dorno mit dem Graukeil eine Deckplatte von mattiertem Milchglas (ähnlich wie bei Webers optischem Photometer) kombiniert. Diese das Licht zerstreuenden Deckplatten dämpfen das wirkende Sonnenlicht und bewirken bei dessen Auffallen auf das horizontal liegende Skalenphotometer eine gleichmäßigere Verteilung; die schräg auf die blanken Spiegelgläser des Graukeiles fallenden Sonnenstrahlen werden nämlich je nach dem Einfallwinkel des Lichtes verschieden stark reflektiert und geben bei schrägem Einfalle infolge stärkerer Reflexion relativ zu niedrige Ablesungen gegenüber der senkrechten Inzidenz. Dorno ließ solche Deckgläser mit einer gegen Regen schützenden Blechkappe an die Eder-Hechtschen Graukeilphotometer (von Herlango, Wien) anbringen, nachdem die Milchgläser von ihm auf Gleichmäßigkeit der Durchlässigkeit und auf ihre Opazität geprüft wurden. So werden die laufenden Messungen auf mühelose Dauerbelichtungen ohne Rücksicht auf die Witterung und mit zweimaligem, täglichem Wechsel des Photometerpapiers (mittags und abends) beschränkt; gewisse Reihen kontrollieren den Tagesgang des Lichtes in kürzeren Zeitintervallen. Dorno stellt auch einen Tauchapparat für Lichtmessungen unter Wasser unter Mitwirkung der Werkstatt von Prof. Kleinschmidt in Friedrichshafen her, welcher sich gut bewährte. — Solche Instrumente sind an den führenden Observatorien der Schweiz, Deutschlands, Österreichs, der Baltischen Staaten, Italiens und an verschiedenen Überseestationen in Verwendung.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VII. Graukeil-Photometer mit der Keilkonstante 0,4 und verlängerter Skala.

Verlängert man den auf Seite 398 beschriebenen Keil mit der Konstante 0,4 auf 16 cm, so ergeben sich enorm große Dichte-Differenzen, die allerdings in den undurchsichtigen Stellen wenig genau sind. — Der Vollständigkeit halber teilen wir auch diese Tabelle aus „Eder, Ein neues Graukeil-Photometer für Sensitometrie usw. 1920“ (W. Knapp) auf Seite 437 mit.

VIII. Dünne Graukeile mit der Keilkonstante 0,188.

Zur Messung sehr schwacher Helligkeitsdifferenzen dient das Graukeil-Photometer Eder-Hecht mit der Keilkonstante 0,188.

Nachstehende Tabelle macht den Zusammenhang der Skalengrade mit den relativen Lichtmengen, sowie mit den Bunsenschen Einheiten ersichtlich.

Diese ganz dünnen Graukeile benützt man zur Messung sehr kleiner Lichtintensitäten oder zur Prüfung sehr geringer Empfindlichkeitsdifferenzen von Normalpapieren. Sie leisten z. B. bei der Vergleichung von Bunsenschem Normalpapier mit den Dauerpapieren Eders gute Dienste, ferner bei der Photometrie sehr lichtarmer Räume.

6. Verwendung des Graukeils im Eder-Hecht-Sensitometer zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papieren auf ihre Verwendbarkeit zum Druck von Halbtonbildern mittels Autotypie in der Buchdruckpresse und Kupferdruckschnellpresse.

Geeichte und graduierte Graukeile, wie sie im Eder-Hecht-Sensitometer (Keilkonstante 0,4) verwendet werden, lassen sich mit Vorteil zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papiersorten für Zwecke der Halbtonwiedergabe der Autotypie-Klischees in der Buchdruckpresse verwenden (auch für andersartige Druckverfahren in der Flach- und Tiefdruckpresse). Hierauf machte Otto Krumpel in Wien aufmerksam und belegte dies durch Proben, die er gelegentlich einer Ausstellung von Arbeiten der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien anläßlich der Feier des 40jährigen Bestandes dieser Anstalt am 1. März 1928 zeigte. Er ließ von einem derartigen Eder-Hecht-Graukeil im direkten Kopierverfahren ein Autotypie-Druckklischee mit entsprechend feinem Raster herstellen, das eine zarte Abtönung zeigte.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tabelle XI.

Angezeigte Lichtmenge im Eder-Hechtschen Dauerphotometer zur Messung großer Lichtmengen. (Keilkonstante = 0,401.)

Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten
2	0,47	0,651	42	19,3	26,26	82	776	1058	122	31270	42650
4	0,57	0,783	44	23,2	31,59	84	934	1274	124	37620	51310
6	0,69	0,942	46	27,9	38,06	86	1123	1532	126	45250	61730
8	0,83	1,134	48	33,5	45,69	88	1351	1843	128	54440	74260
10	1,00	1,364	50	40,3	54,97	90	1625	2217	130	65490	89320
12	1,203	1,641	52	48,5	66,15	92	1955	2667	132	78790	107500
14	1,45	1,974	54	58,3	79,52	94	2352	3208	134	94780	129300
16	1,74	2,375	56	70,2	95,75	96	2829	3859	136	114000	155500
18	2,09	2,857	58	84,4	115,1	98	3404	4643	138	137200	187100
20	2,52	3,437	60	101,6	138,6	100	4094	5584	140	165000	225100
22	3,03	4,135	62	122,2	166,7	102	4926	6719	142	198500	270800
24	3,65	4,975	64	147,0	200,5	104	5926	8083	144	238810	325700
26	4,39	5,985	66	176,8	241,2	106	7130	9725	146	287300	391900
28	5,28	7,200	68	212,8	290,3	108	8580	11700	148	345600	471400
30	6,35	8,661	70	256,0	349,1	110	10320	14080	150	415800	567100
32	7,64	10,400	72	308,0	420,1	112	12411	16930	152	500200	682200
34	9,19	12,536	74	370,5	505,4	114	14930	20360	154	601700	820700
36	11,05	15,081	76	445,7	607,9	116	17961	24500	156	723800	987300
38	13,3	18,143	78	536,0	731,1	118	21607	29470	158	870800	1188000
40	16,0	21,826	80	645,0	879,8	120	25993	35450	160	1048000	1429000

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tabelle XII.

Angezeigte Lichtmenge im Eder-Hechtschen Dauerphotometer zur Messung kleiner Lichtmengen (Keilkonstante = 0,188.)

Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten	Skalengrade	Relative Lichtmenge	Absolute Lichtmenge in Bunsen-Roscoëschen Einheiten
2	0,707	0,590	42	3,996	3,335	82	22,57	18,84	122	127,5	106,4
4	0,771	0,644	44	4,357	3,637	84	24,62	20,55	124	139,1	116,1
6	0,841	0,702	46	4,752	3,966	86	26,84	22,40	126	151,7	126,6
8	0,917	0,765	48	5,181	4,325	88	29,27	24,43	128	165,4	138,1
10	1,000	0,835	50	5,650	4,716	90	31,92	26,64	130	180,3	150,5
12	1,091	0,911	52	6,020	5,025	92	34,80	29,05	132	196,7	164,2
14	1,189	0,993	54	6,717	5,607	94	37,95	31,68	134	214,4	179,0
16	1,293	1,079	56	7,325	6,114	96	41,38	34,54	136	233,8	195,2
18	1,414	1,180	58	7,987	6,667	98	45,12	37,66	138	254,9	212,8
20	1,542	1,287	60	8,710	7,270	100	49,20	41,07	140	278,0	232,0
22	1,681	1,403	62	9,497	7,948	102	53,65	44,78	142	303,1	253,0
24	1,833	1,530	64	10,36	8,647	104	58,51	48,84	144	330,5	275,9
26	1,999	1,669	66	11,23	9,374	106	63,80	53,25	146	360,4	300,8
28	2,180	1,820	68	12,31	10,275	108	69,57	58,07	148	393,0	328,0
30	2,377	1,984	70	13,43	11,21	110	75,86	63,32	150	428,6	357,8
32	2,593	2,164	72	14,64	12,22	112	82,72	69,05	152	467,3	390,1
34	2,826	2,359	74	15,97	13,33	114	90,20	75,29	154	509,6	425,4
36	3,082	2,573	76	17,41	14,53	116	98,09	81,88	156	555,7	463,8
38	3,361	2,805	78	18,98	15,84	118	107,3	89,56	158	605,9	505,7
40	3,665	3,059	80	20,70	17,28	120	117,0	97,66	160	660,7	551,5

gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG
SLUB Wir führen Wissen.

Mit diesem Autotypie-Klischee wurden auf verschiedenen Papiersorten sowohl im Buchdruck, als auch im Tiefdruck Abdrücke hergestellt. Diese Drucke zeigen deutliche Unterschiede in der Gradation, so daß man deren Umfang und die Tonwiedergabe für verschiedene Druckpapiere zahlenmäßig messen und graphisch darstellen kann. Es können selbstverständlich auch verschiedene Druckfarben, sowie die Herstellungsarten der Druckformen dienen und auch die verschiedenen Druckmethoden auf diesem Wege unter einander verglichen werden. Außer dem Umfang der Halbtonwiedergabe und der Schwärzungstiefe lassen sich an den diversen Drucken auch die verschiedenen Druckmethoden auf diesem Wege bestimmen.

Tafel X, Abb. A zeigt die Halbtonwiedergabe beim Druck auf Kunstdruckpapier und Abb. B. den Druck vom selben Autotypieklischee auf Zeichenpapier. Wir finden dort:

A	B	C
Halbtonwiedergabe von Autotypie-Klischees in der Buchdruckpresse (gestrichenes Kunstdruckpapier)	Halbtonwiedergabe von Autotypie-Klischees in der Buchdruckpresse (Zeichenpapier)	Schnellpressentiefdruck vom selben Klischee auf Kanzleipapier (erscheint als Negativ)

Die diversen Original-Drucke wurden völlig gleichartig autotypisch für die Tafel X reproduziert und auf Kunstdruckpapier zum Abdruck gebracht, wobei der verschiedene Grad der Halbtonwiedergabe auf rauhem Zeichenpapier und auf glattem Papier der Originale auch in dieser Reproduktion deutlich ersichtlich wird.

Es springt unmittelbar die große Ähnlichkeit mit den rein photographischen Kopierpapieren in die Augen, deren Gradationsverlauf analoge Unterschiede aufweist (s. Seite 97); deshalb können alle im Kapitel beschriebenen Ausdrucksformen über den Umfang der Gradation usw. auch für diesen Fall der rein mechanischen Halbtonwiedergabe von Rasterklischees ihre sinngemäße Anwendung finden.

Ganz dasselbe Autotypie-Buchdruck-Klischee wurde von Otto Krumpel zum Abdrucke in der Tiefdruck-Presse verwendet und in der Art von Heliogravure-Tiefdruckplatten zum Abdrucke mit fetter Schwärze gebracht.

Naturgemäß erscheint der Abdruck nunmehr negativ, weil eben aus den Vertiefungen des Klischees gedruckt wurde. Man erkennt aber deutlich die zartere und weiter gestreckte Skala der Abdrücke, welche ja beim Raster-Heliogravure-Tiefdruck so hübsch hervortritt. Auch im Tiefdruck ändert sich die Gradation und der

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Umfang der Halbtonwiedergabe mit der Papiersorte und auch mit der Art der Raster-Tiefätzung, welchen Fragen man sensitometrisch mit der bekannten Sensitometerskalen näher kommen kann.

Die Gradationswiedergabe des Lichtdruck-Verfahrens für die Graukeilskala des Eder-Hecht-Sensitometers wurde bereits von J. M. Eder in der Phot. Korrespondenz 1919 und in seiner Broschüre „Ein neues Graukeil-Photometer", 1920 (W. Knapp in Halle) veröffentlicht und durch eine Lichtdrucktafel illustriert.

C. Röhrenphotometer.

Die Röhren-Photometer bestehen aus einer Serie von verschieden-stark abgeblendeten, hohlen innen geschwärzten Zylindern mit verschiedenen Blendenöffnungen, welche gegen eine gleichmäßig erhellte Fläche gerichtet sind, wobei sich am Boden der Zylinder eine photographische Schicht befindet, die entsprechend der Blendenöffnung gleichmäßig beleuchtet wird. — Die Länge dieser Zylinder ist etwa 10 bis 60 cm. Man kann auch direkt einfallendes Licht von punktförmigen Lichtquellen durch Vorschalten einer genügenden Anzahl matter Gläser oder von Milchglas, ebenso wie durch Reflexion von rein weißem Zeichenpapier oder mit einem mit Barytweiß gestrichenen Papier diffus machen. Solche Röhren-Photometer gab schon Roscoë in den sechziger Jahren zur Messung des zerstreuten Himmelslichtes an[1]), ferner Taylor (1869), das in Abb. 138 dargestellt ist und für photographische Zwecke diente

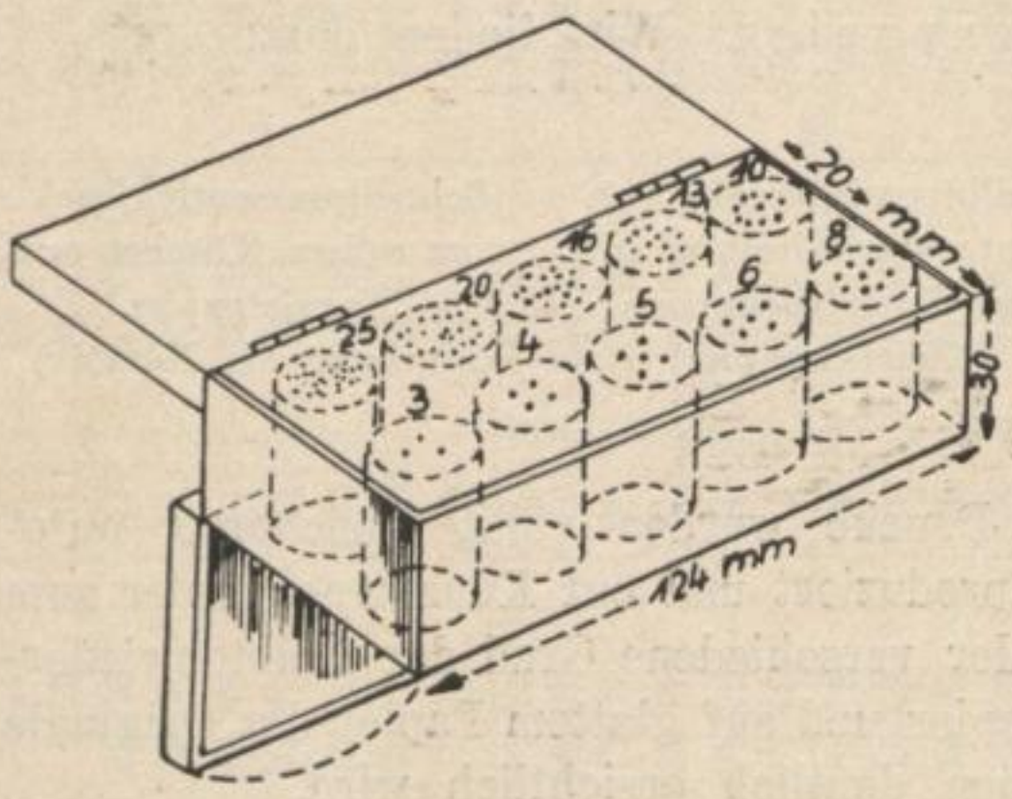


Abb. 138. Taylors Röhrenphotometer.

1) Roscoë benützte sechs hohle mit Blenden versehene Zylinder von 60 cm Länge und 10 cm Durchmesser, welche gegen den Zenit des Himmels gerichtet waren, so daß ein unten befindliches Chlorsilberpapier in genau bestimmten relativen Lichtintensitäten von eins bis zwölf belichtet wurde. Diese Schwärzungsskala auf Bunsenschem Chlorsilber-Normalpapier wurde mit dem Bunsen-Roscoëschen Normalgrau aus 1000 Teilen Zinkweiß und einen Teil Ruß verglichen und auf diese Weise die Eichung vorgenommen. (Poggendorff Annal. f. Physik. und Chem., Bd. 151, S. 268).

(Phot. News 1869, S. 19; Phot. Mitteil. Bd. 5, S. 284 und Bd. 18, S. 267), Mucklow und Spurge (1881), H. W. Vogel (1898), der in einer Metalldeckplatte 1 bis 24 kleine Löcher von $^3/_4$ mm Durchmesser anbrachte, und zwar in arithmetischer Progession.

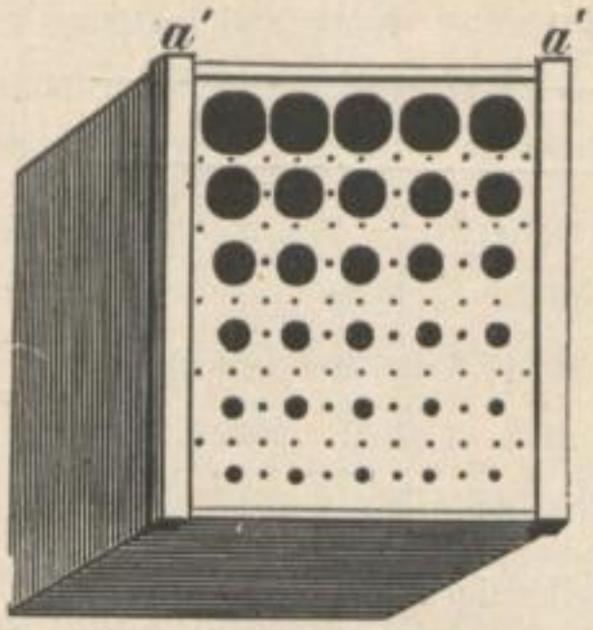


Abb. 139a.

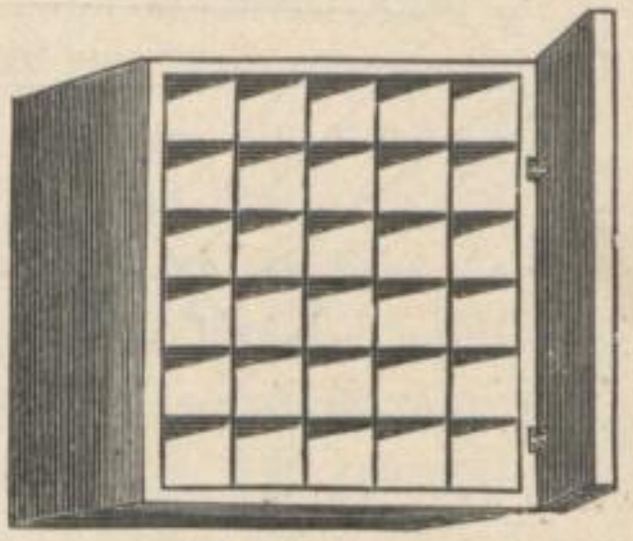


Abb. 139b.

Photometer von Mucklow u. Spurge.

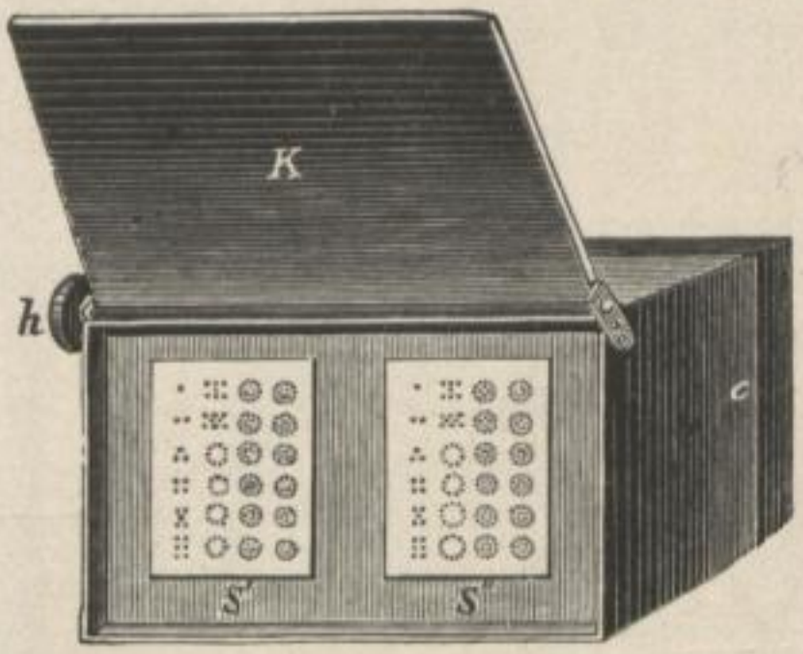


Abb. 140. H. W. Vogels Röhrenphotometer.

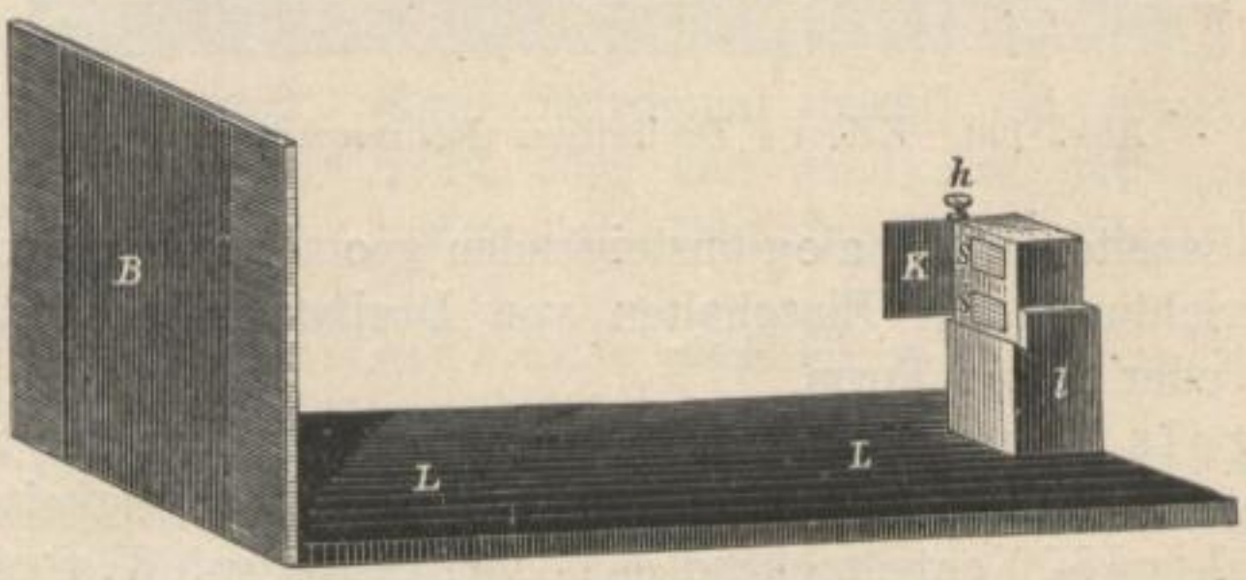


Abb. 141. H. W. Vogels Röhrenphotometer.

Abbildung 138 und 139 zeigen das Taylorsche Photometer, Abbildung 140 bis 142 das von Mucklow und Spurge, Abbildung 140 das Vogelsche doppelte Röhrenphotometer mit arithmetischem Skalenanstieg und Abbildung 143 Eders dreifaches Röhren-Photometer (1903, Phot. Korresp. S. 426) mit einer dem

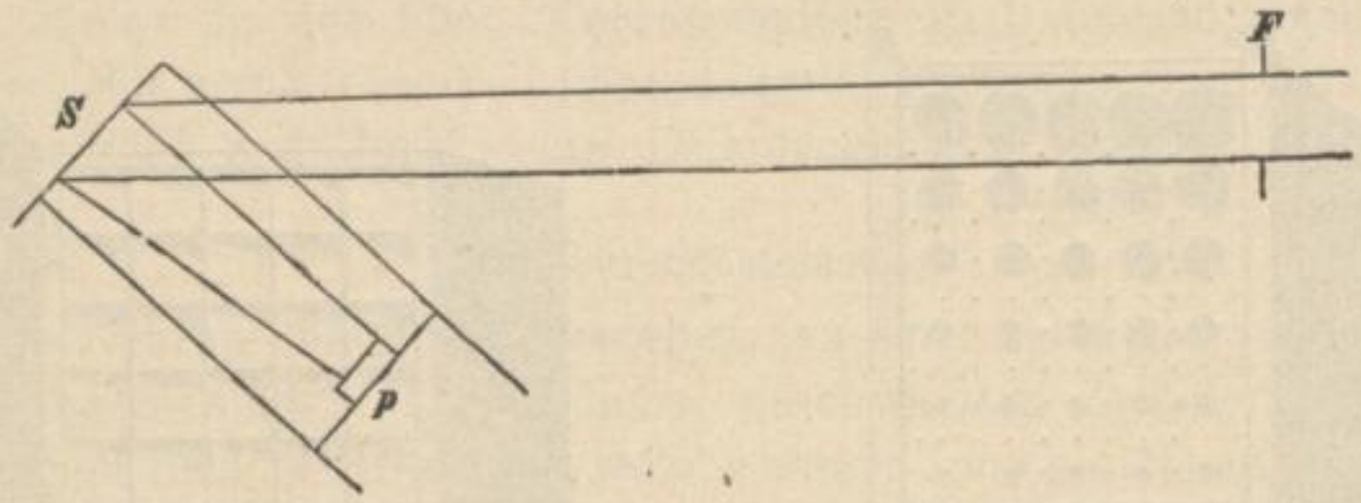


Abb. 142. 140 bis 142 H. W. Vogels zweikeiliges Röhrenphotometer.

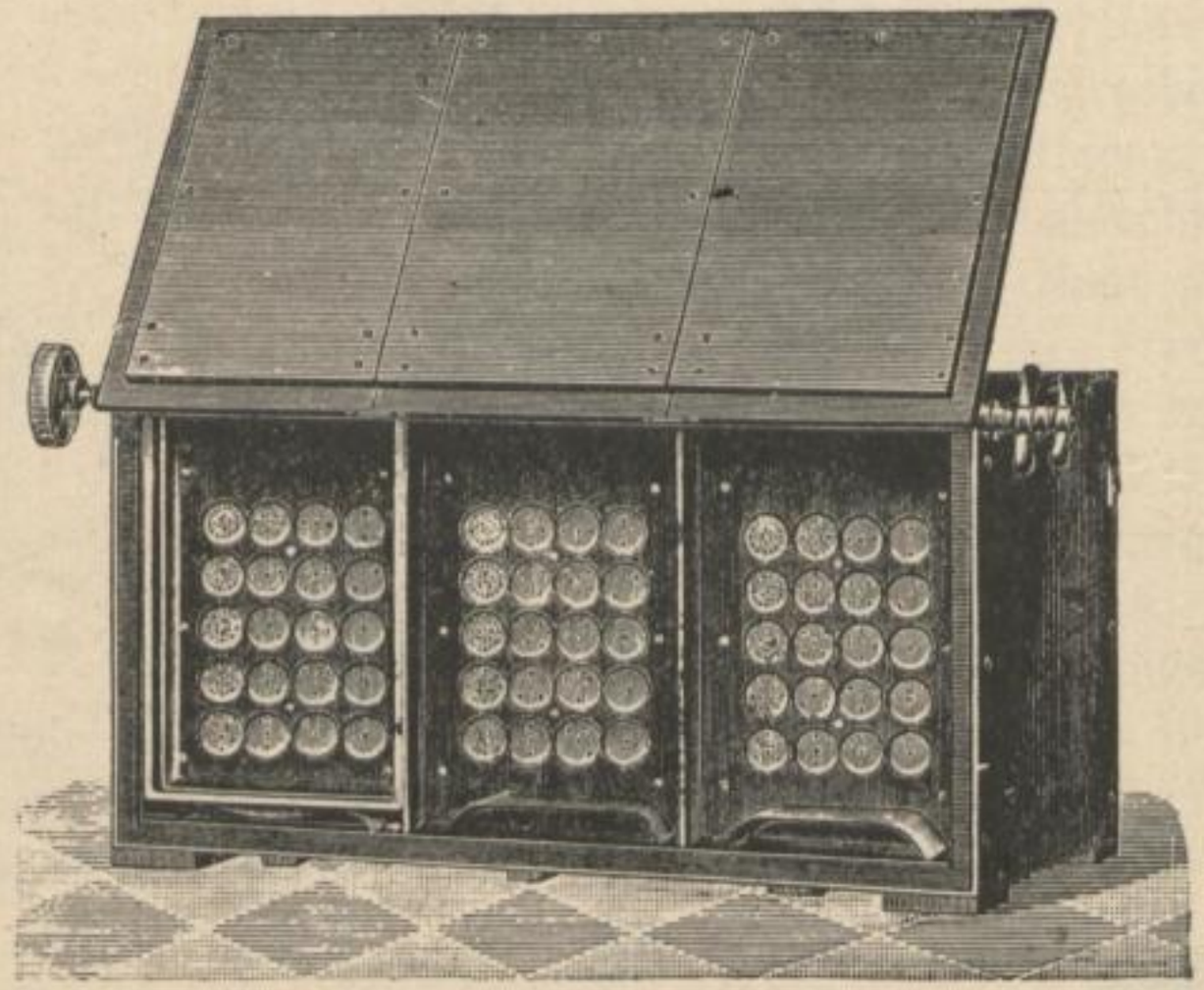


Abb. 143. Eders Dreiteiliges Röhrenphotometer.

Scheiner Sensitometer analog ansteigenden geometrischen Progression und Vorrichtung zum Einschalten von Dreifarben-Lichtfiltern von flüssiger oder fester Form.

Vogels Photometer umfaßte nur einen Umfang der 24fachen Helligkeit, Eders Röhren-Sensitometer besitzt Helligkeitsgrenzen zwischen 1 und 100 entsprechend den Scheinergraden. W. Scheffer machte das Licht durch Vorschalten einer Milchglasplatte diffus

und ließ die Helligkeit der Felder anwachsen wie 1:2:4:8 usw. (Eders Jahrbuch für Phot. 1910, S. 97.)

Es ist ein Verdienst von Parkhurst und Jordan[1]), gezeigt zu haben, daß dieses einfache und in seiner Anwendung so bequeme Instrument sich auch für höchst genaue photographische Messungen von Sternhelligkeiten verwenden läßt. — In neuerer Zeit hat sich insbesondere G. Eberhard am Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam mit dieser Verwendung des Röhren-Photometers befaßt[2]).

Eberhards Röhren-Photometer ist von O. Töpfer in Potsdam hergestellt worden (jetzt Askania-Werk, A.-G. vorm. C. Bamberg, in Berlin-Friedenau, Kaiserallee 87). In ihm sind sechzehn gleichweite, innen mit Ruß geschwärzte Röhren konzentrisch und parallel zur Achse angebracht. — Eine Metallplatte mit 16 verschieden runden, großen Öffnungen befindet sich auf der einen Seite mit entsprechenden Mattscheiben, an der anderen Seite befindet sich die photographische Platte. Benützt man als Normallichtquelle eine elektrische Metallfadenlampe, so kann das Licht wohl genügend diffus gemacht werden und man kann überdies noch zwei weitere Mattscheiben in das Lampengehäuse einfügen, um das Licht noch gleichmäßiger zu verteilen. — Die Eichung des Röhren-Photometers wird durch Messung der Durchmesser der Öffnungen in der Lochplatte bewirkt.

Diese Öffnungen werden am genauesten dadurch gemessen, daß man eine Anzahl im Kontakt kurz belichteter photographischer Kopien auf Trockenplatten anfertigt und genau mißt. Zur weiteren Abblendung dienen geschwärzte Metalldraht-Gitter oder geschwärzte Trockenplatten. Das Prinzip, welches dem Röhren-Photometer zugrunde liegt, hat sich als exakt erwiesen.

Adolf Hnatek verwendete für seine spektralphotometrischen Untersuchungen von Sternen gleichfalls ein Röhren-Photometer vom Typus Eberhard und machte gleichfalls wie dieser die Photometerbüchse rotierbar. Sein Instrument besaß ein Intervall der Lichtintensität von nur 1:14 oder von rund drei astronomischen Größenklassen. Auch er verwendete Dämpfungsfilter von entwickel-

---

1) Parkhurst und Jordan „An absolute scale of photographic magnitudes of stars“ (Astrophysical Journal 1907, Bd. 26, S. 244).

2) Eberhard (Eder Jahrbuch f. Phot. 1911, S. 109), ferner s. über „Eberhards photographisch-photometrische Untersuchungen, das Röhren-Photometer und seine Prüfung“. (Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam 1926, Nr. 84, Heft 1).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ten Bromsilber-Gelatine-Platten (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1916, Bd. 15, S. 275). Röhren-Photometer für Spektral-Photometrie im Ultraviolett beschreibt Kellner (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1926, Bd. 24, S. 85). Alle diese Röhrenphotometer haben einen weit kleineren Lichtumfang als die Keil-Photometer.

II. Sensitometer mit intermittierender Belichtung. Scheiner-Sensitometer.

Rotierende Scheiben, mit ihren leicht herstellbaren Helligkeits-Abstufungen, geben ein vorzügliches Hilfsmittel ab, um strukturlose abschattierte Flächen für photometrische und photographische Zwecke herzustellen (vgl. I. Kapitel).

Wird eine Scheibe mit einem sektorförmigen Ausschnitt in schnelle Rotation versetzt, so wird das hindurchgehende Licht im Verhältnisse der Sektoröffnung zum ganzen Kreise geschwächt. — Bezeichnet man mit α die Winkelöffnung des Sektors (in Graden) und mit J_0 die Intensität des auf die Scheibe fallenden Lichtes, so ist die Intensität J nach dem Durchgange des Lichtes

$$J = J_0 \frac{\alpha}{360}$$

Dieses Prinzip der rotierenden Sektorscheibe wendeten Hurter und Driffield für ihr Verfahren der Sensitometrie und der Konstruktion der charakteristischen Schwärzungskurven an, bedienten sich aber eines stufenförmigen Ausschnittes und als Lichtquelle einer Walratkerze in der in Abb. 5 des I. Kapitels ersichtlichen Anordnung.

Das Hurter und Driffieldsche Sensitometer zeigte ein rasches Ansteigen der Photometergrade (1:2:4 usw.), was in Kombination mit der ungenügenden Normal-Kerze zu ungenauen Messungen führte, die nichtsdestoweniger die genannten Forscher zu ihrem grundlegenden System der Konstruktion ihrer charakteristischen Schwärzungskurve und zahlreichen richtigen Ergebnissen leitete, aber in manchen Einzelheiten durch die später verfeinerten Meßmethoden zu korrigieren waren.

Der Astronom Julius Scheiner konstruierte am astrophysikalischen Observatorium in Potsdam ein genaues Sensitometer mit rotierender Sektorenscheibe mit einer wesentlich ansteigenden Helligkeitsskala (1 : 1,27), wobei die erzielbare Genauigkeit 3 bis 4mal größer als bei Hurters Photometer ist; er verwendete auch eine spezielle Benzinlampe (siehe Seite 365), die von Eder auf die Hefnersche Normalkerze normalisiert wurde.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Das Sensitometer Scheiners wurde auf dem 3. internationalen Kongreß für angewandte Chemie Wien 1898 von J. M. Eder als Normal-Sensitometer in Kombination mit der Scheiner-Benzinkerze zur Prüfung der Empfindlichkeit von Bromsilbergelatine-Trockenplatten vorgeschlagen, jedoch in der von Eder geänderten Form des großen Modells mit verlängerter Skala, unter Beseitigung jedweden absorbierenden Mediums. In Anerkennung der Vorzüge des Instrumentes gegen alle damals gebräuchlichen Apparate dieser Art wurde der Antrag des Referenten einstimmig von den Kongreßmitgliedern angenommen.

Über Anwendung dieses Sensitometers zu photometrischen Zwecken siehe in der Beschreibung des Apparates von Prof. Dr. J. Scheiner, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Berlin, 14. Jahrgang, Juni 1894, sowie in der Photogr. Korrespondenz, Wien, Referat von J. M. Eder, Septemberheft 1898, und „System der Sensitometrie photograph. Platten" von J. M. Eder in Wien, Sitzungsbericht der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathem.-naturw. Klasse; Band CVIII, Abteilung II a, November 1899.

Die ursprüngliche Form des Scheiner-Sensitometers[1]) zeigt Abb. 6a im I. Kapitel. Der Sektorenausschnitt wies eine kontinuierliche Krümmung auf, welche Lichtunterschiede von 1 bis 100 zur Geltung brachte und eine kontinuierlich verlaufende Schwärzung der damit belichteten und entwickelten photographischen Platte ergab. — Diese Anordnung ist zur Herstellung von photographischen Graukeilen sehr geeignet, und Scheiner teilte sie durch eine Schablone mit zwanzig rechteckigen Ausschnitten in kleine Felder, deren Nummern er durch eine zwischengelegte beschriftete Gelatinefolie bezeichnete.

Eder änderte das Scheinersche Modell zum Zwecke seiner besseren photographischen Verwendbarkeit, beseitigte die lichtschwächenden Gelatinefolien in den Kassetten (Phot. Korr. 1894), schnitt die Kurve staffelförmig aus, um die gleichmäßige Belichtung jedes einzelnen Feldes zu erreichen, schlug größere Scheiben vor, gab dem Scheiner-Sensitometer die später allgemein gebräuchliche Form und er bestimmte hierfür alle optischen Konstanten des Apparates; dieses große Modell erzeugte der Sternwarte-Mechaniker Töpfer in Potsdam, welcher später in die Askania-Werke, vorm. Carl Bamberg, Werkstätte für Präzisionsmechanik und Optik, übertrat (Berlin-Friedenau, Kaiserallee 87/88), wo jetzt das erwähnt große Modell des Scheiner-Sensitometers samt der Scheinerschen Benzinlampe erzeugt wird.

Scheiners Sensitometer mit rotierender Scheibe und die auf Eders Vorschlag angebrachte Form der staffelförmigen Ausschnitte ist in Abb. 144 abgebildet. Die schwarze Blechscheibe S besitzt den Ausschnitt A und wird mit dem Kurbelrad K mit Schnurlauf durch Handbetrieb in Rotation versetzt (ein- bis zweimalige Kurbeldrehung pro 1 Sekunde bewirkt Rotation der Scheibe

1) Scheiner, Zeitschrift f. Instrumentenkunde, Juni 1894.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

400—800mal [1]) pro Minute). Hinter der Scheibe ist die Kassette C mit der photographischen Platte angebracht. Die Belichtung erfolgt also intermittierend. Als Normallicht dient eine Benzinkerze (s. S. 365); es wird die Flamme durch eine 1 mm breite horizontale Spaltblende abgeblendet und die Flammenhöhe durch einen Metallring markiert. Ein roter Glaszylinder schließt die Flamme ein und läßt nur vorne durch eine runde Öffnung das Licht frei auf die Sensitometerscheibe fallen; diese Lichtquelle wird gegenüber der Mitte der photographischen Platte (Mitte der Skala) aufgestellt.

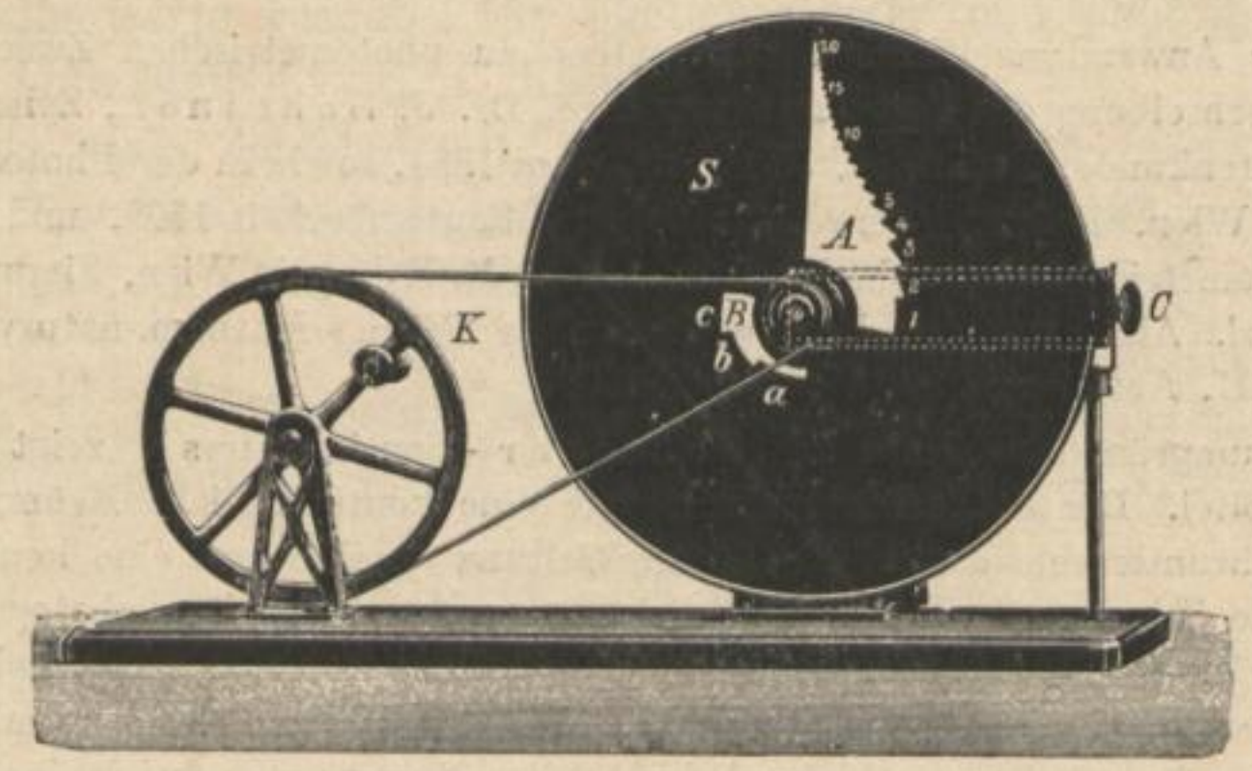


Abb. 144. Scheiners Sensitometer.

Bei Scheiners Sensitometer kommen Intensitätsunterschiede = 1:1,27 zur Wahrnehmung, und zwar beim großen Modell innerhalb der Grenze von 1 bis 200. Der Ausschnitt bei Nr. 1 bei Scheiners Sensitometer hat 100 Grad Winkelöffnung; den größeren Ausschnitten entsprechen die Nummern a, b, c, den kleinen die Nummern 1 bis 20, welche letztere, an der Peripherie der Scheibe liegend, am wenigsten Licht empfängt.

Die Skalenfelder der entwickelten Platte stoßen unmittelbar aneinander (Abb. 145 a). Durch diese Anordnung kann man ungemein deutlich erkennen, bei welcher Intensität des einwirkenden Lichtes die einzelnen Felder sich noch unterscheiden, respektive ob die Dichtigkeitsdifferenz verwischt erscheint oder nicht. Jene Phasen der Über- und Unterexposition, in welchen die zu prüfende Bromsilberplatte keine Trennung der benachbarten Felder erkennen läßt, sind für die

---

1) Die Anzahl der Umdrehungen beeinflußt innerhalb dieser Grenzen das Resultat keineswegs (Scheiner).

Charakteristik der Platte und die Ermittlungsperiode der korrekten Expositionszeit von Wichtigkeit. Daneben befinden sich aber in der Sensitometerkassette auch in Blech geschnittene Ziffern und Streifen, welche die Kontrolle erleichtern, bis zu welchem Sensitometerfelde die schwächste Lichtwirkung sich erstreckte. Eine zweite Kassette enthält schmale gitterförmige Einlagen, um die Felder zu trennen, was bei der Ablesung der schwächsten sichtbaren Nummern die Beobachtung erleichtert (Abb. 146 b).

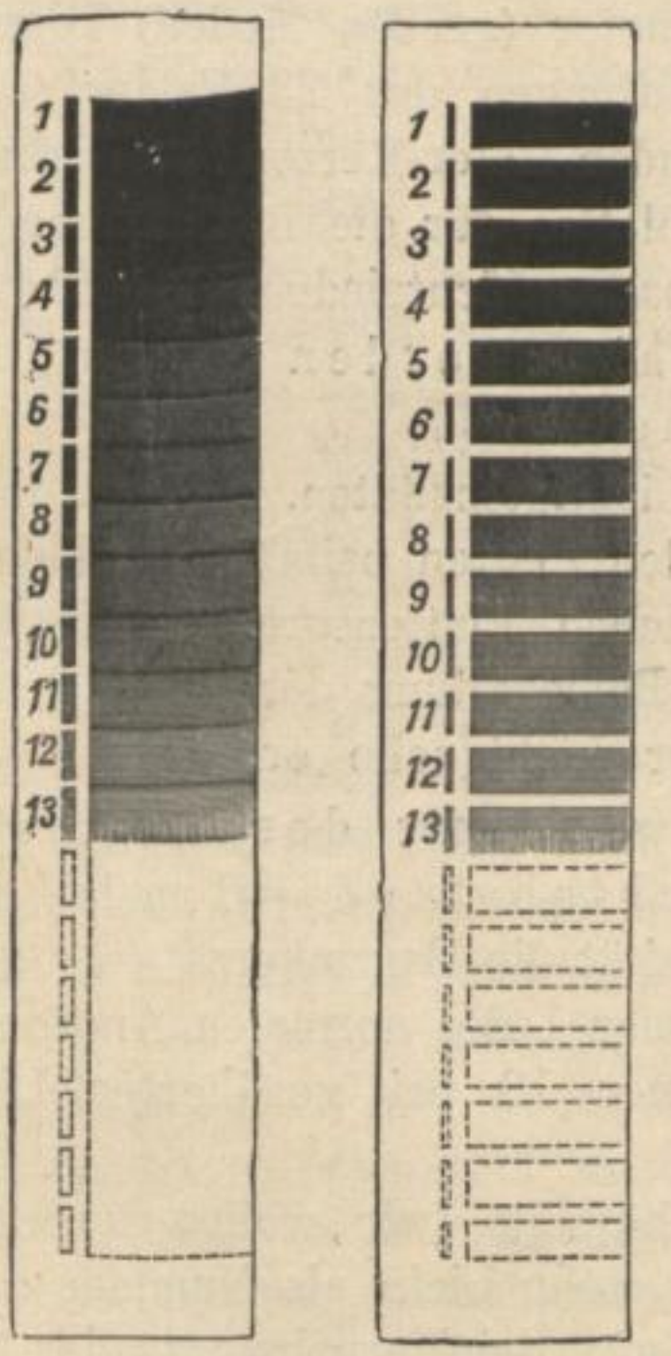


Abb. 145.
Scheiner-Sensitometerstreifen.

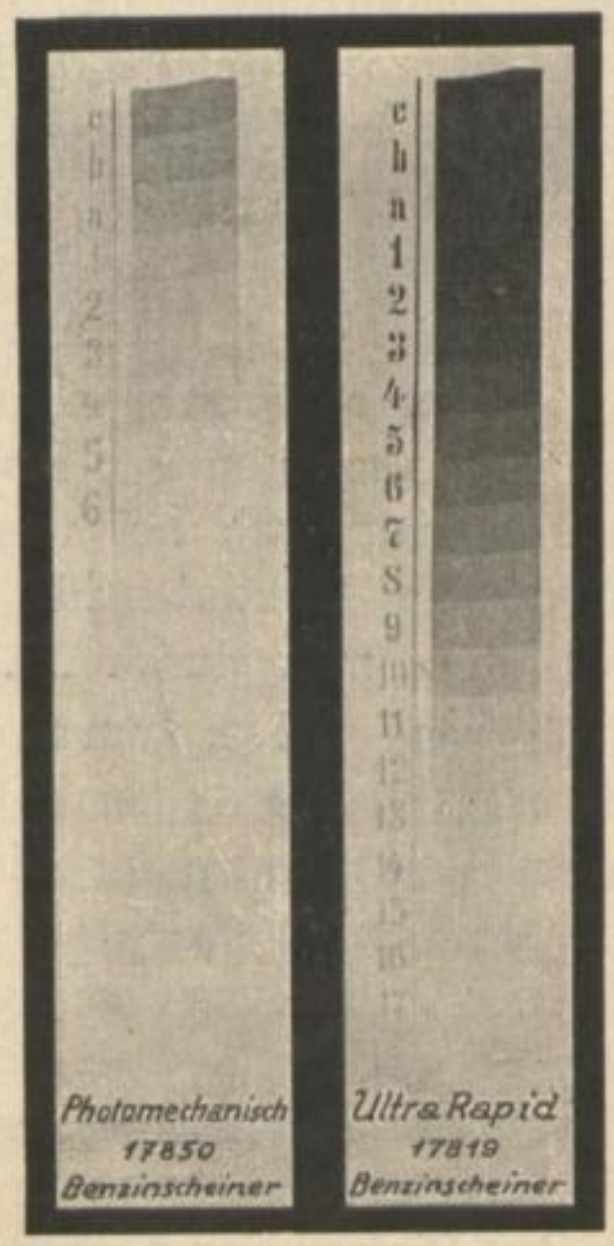


Abb. 146.
Scheiner-Sensitometerstreifen.
a. Photomechanisch
b. Ultra Rapidplatte.

Die normale Distanz der Benzinlampe (mit Zylinder und Blende) von der rotierenden Scheibe ist = 1 m, die Anzahl der Umdrehungen der letzteren 400 bis 800 pro Minute, die Belichtungsdauer = 1 Minute.

Die photometrische Reduktion der Scheinerschen Benzinlampe auf die Hefnersche Amylazetatlampe hatte Eder in den

Jahren 1898/99 vorgenommen, was bereits bei der Besprechung der Scheinerschen Benzinlampe auf Seite 366 angeführt wurde.

Das Aussehen von Sensitometerstreifen des Scheiner-Sensitometers gibt Abb. 146 (nach Aufnahmen der Plattenfabrik Otto Perutz in München) wieder; a zeigt die Scheiner-Sensitometerprobe (Benzinkerze) einer wenig empfindlichen photomechanischen Platte, b die einer Ultra-Rapidplatte. (Die Gradations-Unterschiede dieser Platten siehe Seite 45.)

Beim Scheinerschen Sensitometer (großes Modell) kommen Intensitätsunterschiede der Lichtabstufungen der 23 Felder (a, b, c, 1 bis 20) von 2,614 bis 0,013 Sekunden-Meter-Kerzen zur Wirkung. Dies genügt bei Bromsilber-Gelatineplatten für die Bestimmung der zur Erzielung des ersten entwickelbaren Lichteindruckes erforderlichen Lichtmenge. Nur diese Zahlen werden bei Angabe von Scheinergraden verwendet.

Mitunter benötigt man größere Lichtintensitäten, z. B. um intensivere Schwärzungen der zu prüfenden Platten beim Entwickeln zu erzielen (namentlich bei unempfindlichen Plattensorten). Die Vermehrung der Lichtintensität (unter Beibehaltung derselben Benzinkerze) kann man durch Nähern der Lichtquelle erreichen.

Während bei normaler Anwendung des Scheinerschen Sensitometers der Lichtabstand = 1 m ist, kann man zur Vermehrung der Lichtintensität die Benzinkerze = $^1/_{2,94}$ m zu nähern. Es entspricht dann Nummer 1 der normalen Anordnung nach der Rechnung genau Nummer 10 bei genäherter Lichtquelle [1]).

Nummer c bei genäherter Lichtquelle (wir wollen kurz von rund $^1/_3$ m sprechen) erhält 8,84mal mehr Licht als Nummer c bei normaler Distanz der Lichtquelle (1 m). Bei Vornahme zweier Sensitometerbestimmungen im Scheinerschen Sensitometer — einmal mit dem Lichtabstand = 1 m, das zweitemal $^1/_3$ m Abstand (genauer = $^1/_{2,94}$ m) — kann man also die Wirkungen von Intensitätsunterschieden von 1 bis 1830 zur Wahrnehmung bringen, was für die praktische Sensitometrie vollkommen ausreicht. — Eine weitere

---

1) Bei der Rechnung der Distanz $^1/_{2,94}$ ist berücksichtigt, daß bei genäherter Lichtquelle ein um so größerer Teil der Flamme von einem Punkte der Platte durch das Diaphragma hindurch sichtbar wird. Genaue Korrektionstabellen für beliebige Näherung der Lichtquelle beim Scheinerschen Sensitometer gab Schwarzschild (Publikationen der Kuffnerschen Sternwarte in Wien. Bd. 5. 1900. C. S. 20. Auch Eders Jahrbuch für Phot. 14. Jahrgang).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Näherung der Lichtquelle ist nicht tunlich, weshalb man bei besonders unempfindlichen photographischen Platten zur Verlängerung der Belichtungszeit greifen muß.

Nr. a beim normalen Lichtabstand der Scheinerkerze von 1 m und der normalen Belichtungszeit von 1 Minute entspricht derselben berechneten Lichtmenge wie Nr. 10 bei $^1/_{2,94}$ m Lichtabstand und einer Exposition von 14 Minuten und 24 Sekunden.

Nach diesen Voraussetzungen ist folgende Tabelle Eders berechnet, welche den Lichtmengen von 1 bis 26,400 entspricht.

Karl Kieser verwendete das Scheiner-Sensitometer in veränderter Anordnung der Sektorenscheibe mit Erfolg zur Kontrolle der Eigenschaften von photographischen Papieren und Platten im Fabriksbetriebe. Die Scheibe ist hierbei fest montiert und eine Serie von Kassetten rotiert unter ihr; dabei sind mehrere Proben gleichzeitig zu machen, die dann densometrisch mit einem Koordinatennetz mit Scheinergraden verarbeitet werden (Eders Jahrb. f. Phot. 1915/20, S. 233). (Vgl. Wentzel, dieses Handbuch. III. 1. Seite 449, über K. Kiesers „Mehrfach-Sensitometer“ mit Scheiner-Graden.)

Das Scheiner-Sensitometer hat sich in Deutschland vielfach als Normalinstrument zur Bestimmung der Plattenempfindlichkeit eingebürgert, man kann auch die Gradation damit messen. Es ist durch sein Hinneigen von der Zeitskala zur Intensitätsskala und weil es eine Art Mittelding zwischen Zeitskala und Intensitätsskala ist, für die photographische Praxis in gewissen Grenzen geeignet, denn man hat es hier weder mit konstanten Intensitäten, noch konstanten Expositionszeiten zu tun, wie man z. B. hochempfindliche Platten bald zu Momentaufnahmen heller Gegenstände, bald für Daueraufnahmen lichtschwacher Objekte verwendet.

Wie erwähnt, geben die höheren Nummern mit kleinen Belichtungsdauern und großen Ruhepausen etwas zu niedrige Empfindlichkeitszahlen, aber diese Fehler von etwa 1 bis 2 Grad Scheiner sind in der Praxis kaum fühlbar, wenn man hochempfindliche Platten unter sich vergleicht; dasselbe gilt auch für relative Vergleiche von Diapositivplatten und Kopierpapiere. Die Abweichungen können aber dann störend auftreten, wenn man extrem hochempfindliche Platten mit sehr wenig empfindlichen Schichten im Scheiner-Sensitometer vergleicht, denn dann treten allzugroße Differenzen zwischen den Licht- und Dunkelpausen in die Erscheinung (vgl. S. 203).

Auch sind die Sensitometeranzeigen der allerhöchsten Scheinergrade mit ihren sehr langen Dunkelperioden ungenauer als die in

Nummer des Scheiner-Sensitometers			Relative Lichtmenge	Logarithmus der Lichtmenge	Lichtintensität in Sekunden-Meter-Kerzen	Relative Lichtempfindlichkeit der Platten
		20	1	0,00	0,013	100
		19	1,27	0,10	0,016	78,5
		18	1,62	0,21	0,021	61,6
		17	2,07	0,32	0,026	48,3
		16	2,64	0,42	0,033	37,9
		15	3,36	0,53	0,042	29,8
		14	4,28	0,63	0,054	23,4
		13	5,45	0,74	0,069	18,3
		12	6,95	0,84	0,088	14,4
	20	11	8,86	0,95	0,112	11,3
	19	10	11,3	1,05	0,143	8,9
	18	9	14,4	1,16	0,182	7,0
	17	8	18,3	1,26	0,232	5,5
	16	7	23,4	1,37	0,295	4,3
	15	6	29,8	1,47	0,376	3,4
	14	5	37,9	1,58	0,478	2,6
	13	4	48,3	1,68	0,610	2,1
	12	3	61,6	1,79	0,779	1,6
	11	2	78,5	1,89	0,994	1,3
	10	1	100,0	2,00	1,263	1,00
20	9	*a*	127	2,10	1,604	0,79
19	8	*b*	162	2,21	2,046	0,62
18	7	*c*	207	2,32	2,614	0,48
17	6		264	2,42	3,3	0,38
16	5		336	2,53	4,2	0,30
15	4		428	2,63	5,4	0,23
14	3		545	2,74	6,9	0,18
13	2		695	2,84	8,8	0,14
12	1		886	2,96	11,2	0,11
11	*a*		1130	3,07	14,3	0,089
10	*b*		1440	3,17	18,2	0,070
9	*c*		1830	3,29	23,2	0,055
8			2340	3,37	29,5	0,043
7			2980	3,47	37,6	0,034
6			3790	3,58	47,8	0,026
5			4830	3,68	61,0	0,021
4			6160	3,79	77,9	0,016
3			7850	3,89	98,4	0,013
2			10000	4,00	126	0,010
1			12700	4,10	160	0,0079
a			16200	4,21	205	0,0062
b			20700	4,32	261	0,0048
c			26400	4,42	330	0,0038

Lichtabstand $^1/_{2,94}$ m, Exposition 14 Min. 24 Sek.

Lichtabstand $^1/_{2,94}$ m, Exposition 1 Minute

Lichtabstand 1 m, Exposition 1 Minute

(normale Verwendung)

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

den mittleren Feldern; man kann durch einen einfachen Kunstgriff die Genauigkeit der Scheiner-Probe erhöhen, wenn man Rapidplatten im Sensitometer nur etwa 10 Sekunden (statt normal mit 60 Sekunden) exponiert dadurch in die Mitte der Skala herunterrückt, und die abgelesene Empfindlichkeitszahl bei der endgültigen Feststellung der Sensitometergrade rechnerisch korrigiert. Dieser Vorgang wird in der Phototechnik auch zur Extrapolierung der Scheinergrade verwendet.

Hierzu sei bemerkt, daß um das Jahr 1900 die mittlere Empfindlichkeit von Bromsilber-Gelatineplatten des Handels (für Porträt-Photographie) 10° Scheiner war, während die Fabrikation der Bromsilbergelatine sich später vervollkommte, so daß man sie heute auf 14 bis 20° Scheiner oder mehr ansetzen kann (näheres s. Tab. S. 411 u. 422.).

Man kann also mit dem Scheiner-Sensitometer ganz gut Empfindlichkeitsmessungen auf Grund des wahren oder effektiven Schwellenwertes machen, wenn man die genauen, in wissenschaftlicher Beziehung sehr komplizierten Wirkungen der intermittierenden Beleuchtung berücksichtigt, die bereits auf Seite 203 beschrieben wurden.

Ein störender Einfluß des Intensitätsfaktors auf die Empfindlichkeitsmessung hoch- und wenigempfindlicher Platten kommt übrigens auch bei den vollkommensten Sensitometern, wie denen mit kontinuierlicher Zeitskala zur Geltung (s. sub. III, S. 382 u. 452), so daß man solche Abweichungen dem Scheiner-Sensitometer nicht allein zum Vorwurf machen darf. Allerdings zeigt die intermittierende Exposition Abweichungen, die größer als bei anderen Systemen sind.

Reduktion von Scheinergraden auf Grade eines Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometers.

Da man bisher in Österreich und Deutschland die Plattenempfindlichkeit nach Graden des Scheiner-Sensitometers anzugeben gewohnt war, so ermittelte Eder die folgende Reduktions-Tabelle zur Umrechnung von Scheinergraden in Eder-Hechtgraden. — Dabei ist vorausgesetzt, daß die Scheiner-Benzinlampe in 1 m Abstand von der Platte sich befindet, oder was dasselbe ist (man stellt die Hefnerlampe im Abstand von 3,634 m von der zu prüfenden Platte auf und erhält dann im Scheiner-Sensitometer wahre Scheinergrade.) Diese sind mit der Normalbelichtung im Eder-Hecht-Sensitometer mit einer Hefnerlampe im Abstand von 1 m verglichen und entsprechen für blauempfindliche Platten einer Belichtung mit Magnesium von 2 Milligramm im Abstand von 3 m.

Reduktion von Scheiner-Sensitometergraden auf Eder-Hechtsche[1]) normale Graukeil-Sensitometergrade.

Scheiner-Sensitometergrade	Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometergrade	Scheiner-Sensitometergrade	Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometergrade	Scheiner-Sensitometergrade	Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometergrade
1	42	11	68	20	90
2	45	12	71	21	93
3	48	13	74	22	96
4	50	14	77	23	98
5	53	15	80	24	100
6	56	16	82	25	104
7	58	17	84	26	106
8	61	18	86	27	108
9	64	19	88	28	100—111
10	66				

Diese Werte sind nur allgemein orientierende und keine absolut genauen, weil die beiden prinzipiell verschiedenen Sensitometer-Systeme sich nur annähernd aufeinander beziehen lassen, aber immerhin genügen sie für den praktischen Bedarf (vgl. J. M. Eder „Berechnung der Empfindlichkeit nach Scheiner-Graden“, Phot. Industrie, April 1929).

III. Sensitometer mit kontinuierlicher Zeitskala — nicht intermittierend.

Man kann im allgemeinen annehmen, daß die Zeitskalen einen regelmäßigen Gang bei der Sensitometrie aufweisen, als die Intensitätsskalen, worauf bereits auf S. 384 hingewiesen wurde.

Sensitometer mit Zeitskala werden hergestellt durch Vorbeibewegen einer undurchsichtigen Deckplatte mit Fenstern von verschiedener Höhe, welche proportional der gewünschten Exposition sind und mit einer bestimmten Bewegung vor der Platte vorbeigezogen werden (vgl. Kapitel I, S. 2).

Mat hat genaue Belichtungsapparate konstruiert, um die Progression der Zeitskala genau messen zu können. Man führt z. B. eine dünne Metallplatte mit verschieden langen, der gewünschten Exposition proportionalen Schlitzen mit vollkommen gleicher Ge-

[1]) Abstand d. Hefnerkerze = 1 m, Belichtungszeit = 1 Min. — Keilkonst. = 0.401.

schwindigkeit vorbei, so daß die Belichtung in einer geometrischen Proportion erfolgt (z. B. wie 1, 2, 4, 8, 16, 32 usw.).

Solche Sensitometer mit Zeitskala sind gegenwärtig wohl wenig gebräuchlich, da sie kostspielig und schwer zu behandeln sind. Für Spezialuntersuchungen ist wohl die im Bureau of Standards und im Kodak-Untersuchungslaboratorium eingeführte Form die vollkommenste. Bei dieser Type von Instrumenten wird eine Sektorenscheibe nach der Art des Scheiner-Sensitomerters mit einer einzigen Umdrehung, deren Zeitdauer präzise reguliert ist, vor der zu prüfenden Platte vorübergeführt. Es findet also eine kontinuierliche Belichtung mit einer Zeitskala statt (englisch: „non-intermittent").

R. Davis bewegt eine Sektorenscheibe nur einmal vor der Platte vorbei, aber mit variabler Geschwindigkeit, was er mit einem Präzisionsuhrwerk und elektrischen Kontakten durchführt. Die Belichtungszeit steigt progressiv an und erreicht einen Umfang von $^1/_8$ bis 1024 Sekunden (Bureau of Standards 1925, Washington; Science Ind. Phot. 1926). — Hierfür kann auch die Sektorenscheibe eines Scheiner-Sensitometers mit einer gleichmäßigen Umdrehung verwendet werden.

Die vollkommenste Type von Sensitometern mit kontinuierlicher Zeitskala führte Loyd A. Jones im Kodak-Forschungsinstitute in Rochester durch, die äußerst kurze, sowie enorm lange Intervalle der Belichtungszeit anzuwenden gestattet.

Zunächst konstruierte Loyd A. Jones ein System von Sektorenscheiben, die mit einer einzigen, in der Zeit genau präzisierten Umdrehung Expositionszeiten von 0,00012 Sekunden bis 72 Stunden gestatteten. Durch verschiedene Entfernung der Lichtquelle wurde die Lichtintensität geregelt und konnte in besonderen Fällen von 1 bis mehr als 2 000 000 ausgedehnt werden. Vor allem ist ein sehr präziser synchroner Motor zur Einteilung der Belichtung notwendig, über den Jones für seine Experimente verfügte (Journ. Optic. Soc. Americ. 1923, Bd. 7, S. 307); so konnte er die Zeiten bis auf 1 % genau regulieren. Es ist notwendig, die Rotation des Sektors sehr genau zu regeln, was an den Konstrukteur hohe Anforderungen stellt. Apparate dieser Type benützte L. A. Jones zu seinen Untersuchungen über die Schwärzungsgesetze photographischer Platten, welche wir an mehreren Stellen dieses Werkes beschrieben haben. Für technische sensitometrische Plattenprüfungen sind solche Apparate wohl viel zu kompliziert.

Dieses System arbeitete Jones und seine Mitarbeiter später weiter aus. L. A. Jones und C. A. Chambers vom Kodak-

Forschungslaboratorium in Rochester legten am VII. Internat. Photogr. Kongreß in London 1928 ein „Nichtintermittierendes Sensitometer mit starker Lichtquelle“ vor. Sie bedienen sich einer Lampe von 30 Lux, welche Glühlampe durch blaue Lichtfilter (s. S. 339) auf die Qualität des Sonnenlichtes gebracht wurde. Bei der Prüfung von Negativmaterial muß die Belichtungszeit sehr klein sein und darf 0,00025 Sekunden nicht überschreiten, um die vollständige charakteristische Kurve von Bromsilbergelatine zu erhalten. Bei Verwendung eines Sensitometers mit nur einer Scheibe müßte diese sehr große Dimensionen haben und mit sehr großer Geschwindigkeit gedreht werden. Deshalb haben die Genannten die Anordnung mit zwei konzentrischen Scheiben übernommen, wie sie bereits von Hardy benutzt wurde. Die kleine Scheibe macht 600 Umdrehungen in der Minute und erteilt 12 Belichtungszeiten, die eine geometrische Reihe des Ausdruckes $\sqrt{2}$ ausdrücken. Der kleinste Sektor hat eine Öffnung von 0,9 Grad und liefert somit bei der angegebenen Geschwindigkeit eine Belichtungszeit vom 0,00025 Sekunden. Die zweite größere Scheibe macht eine Umdrehung, während die kleine deren 32 ausführt, und spielt die Rolle eines Verschlusses, indem sie nur eine Belichtung in den 32 Fällen gestattet. Außerdem erfüllt die große Scheibe auch eine sensitometrische Aufgabe, indem sie die Serie der Belichtung der ersten Reihe verlängert, bis zur Belichtungszeit von 0,512 Sekunden. Der synchrone Wechselstrom-Motor läuft genau, so daß die Fehlergrenze bei etwa 1% liegt.

Vergleicht man den Sensitometerbefund mit dieser starken Intensität von 30 Meterkerzen mit einer Lampe von 0,25 Meterkerzen, so stimmen für Platten mittlerer Empfindlichkeit die beiden nahezu überein. Für sehr wenig empfindliche Platten (Diapositivfilme) gibt das Sensitometer mit starker Lichtquelle eine etwa doppelt so große Empfindlichkeit an, während bei Rapidplatten das Gegenteil stattfindet. Die Einrichtung dieses Sensitometers ist in Abb. 147 bis 150 ersichtlich.

---

1) L. A. Jones und G. A. Chambers „A High Intensity Time-Scale Sensitometer“. Nr. 353 der Kodak-Berichte, vorgelegt am 7. Photogr. Kongress in London 1928; im Auszuge in Kinotechnik 1928, S. 490. — frühere Publikation. Siehe ferner L. A. Jones „A new non-intermittent Sensitometer“ (Journ Franklin Instit. 1920, Bd, 198, Seite 303, auch Phot. Journ. 1920, Bd. 80, S. 80, und im Auszug Abridg. Scientif Pub'ic. Eastman Kodak Co. Nr. 64.) — Ferner Jones: Brit. Journ. Phot. 1920. S. 86. — Journ. Opt. Soc. Amer. 1923, Bd. 7, S. 305; im Auszug Abridg. Scientif. Publ. Rastman Kodak 1923, Nr. 161. — A. C. Hardy, Jour. Opt. Soc. Amer. 1925. Bd. 10. S. 149.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

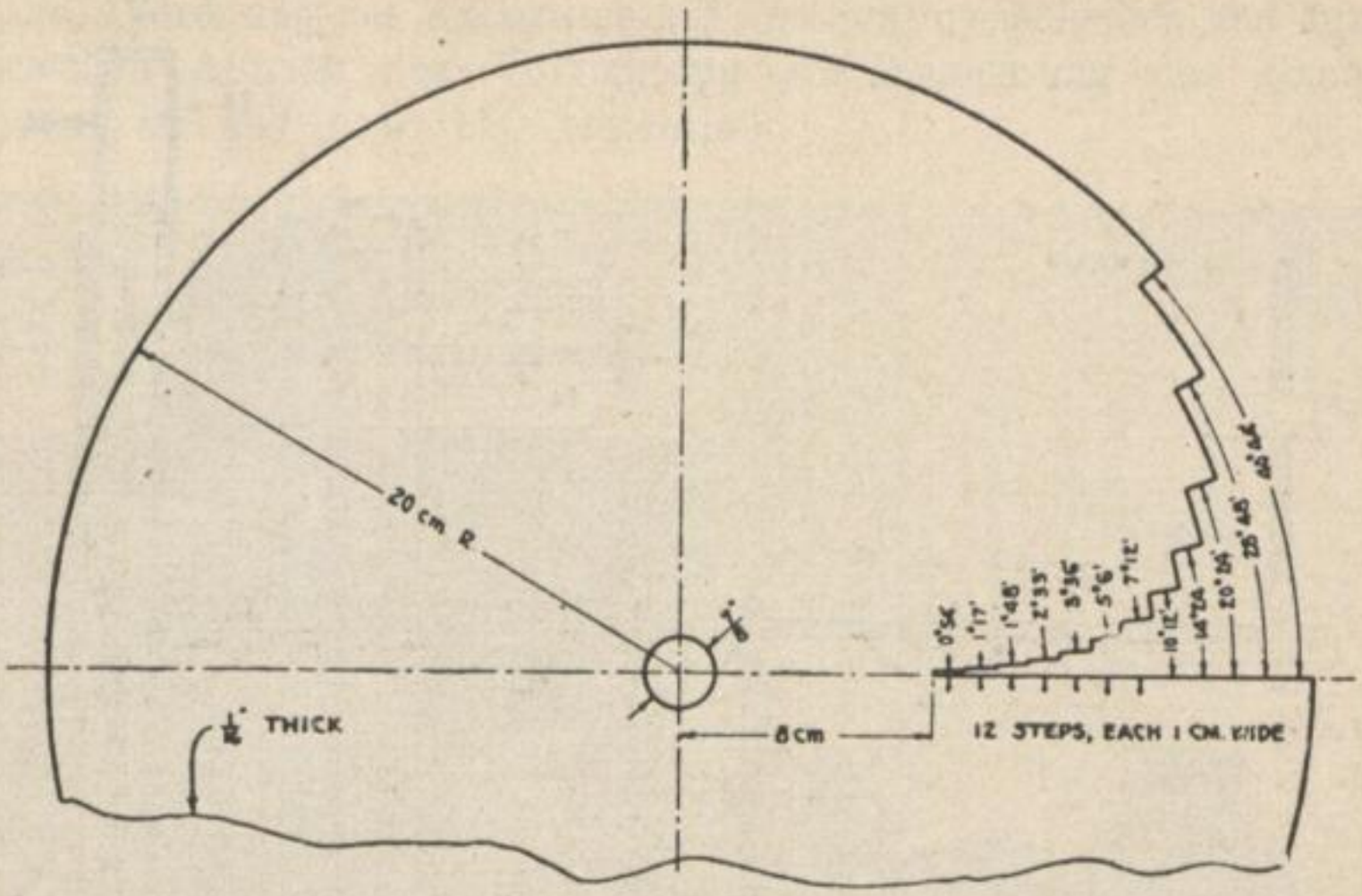


Abb. 147. Jones und Chambers „High Intensity Sensitometer" mit kleinem Sektor (Stahlscheibe).

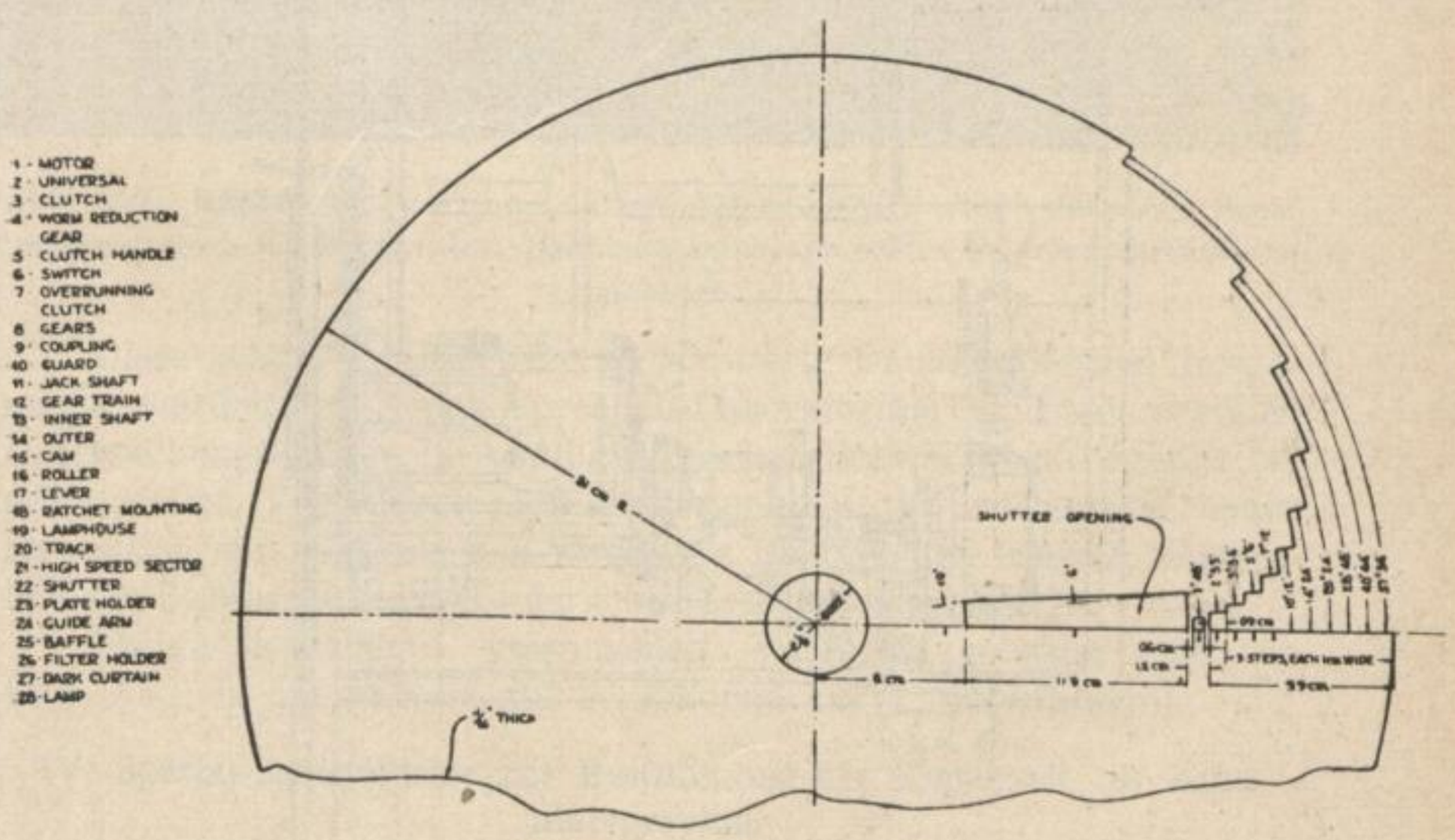
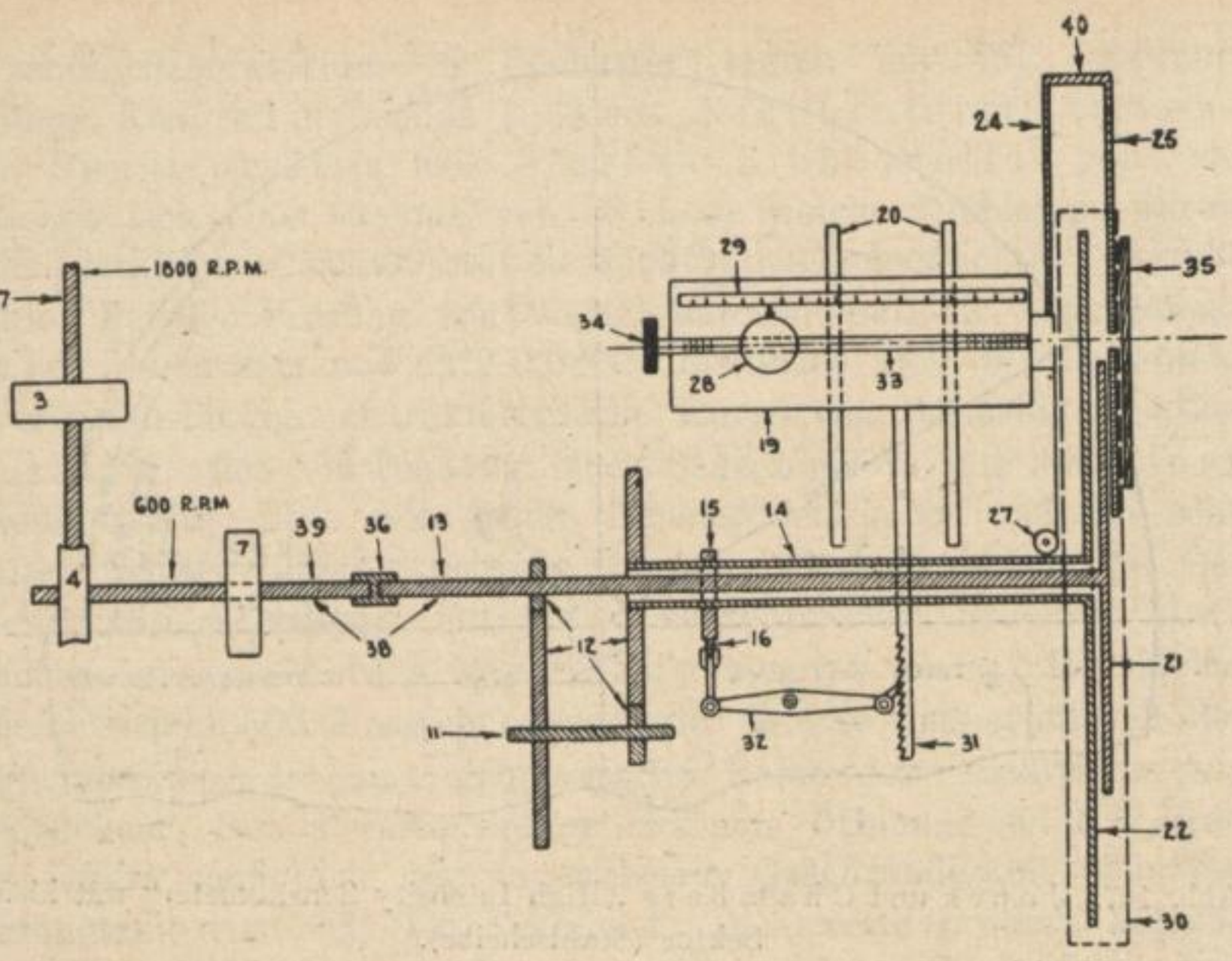


Abb. 148. Jones und Chambers „High Intensity Sensitometer" mit großer Sektorenscheibe.



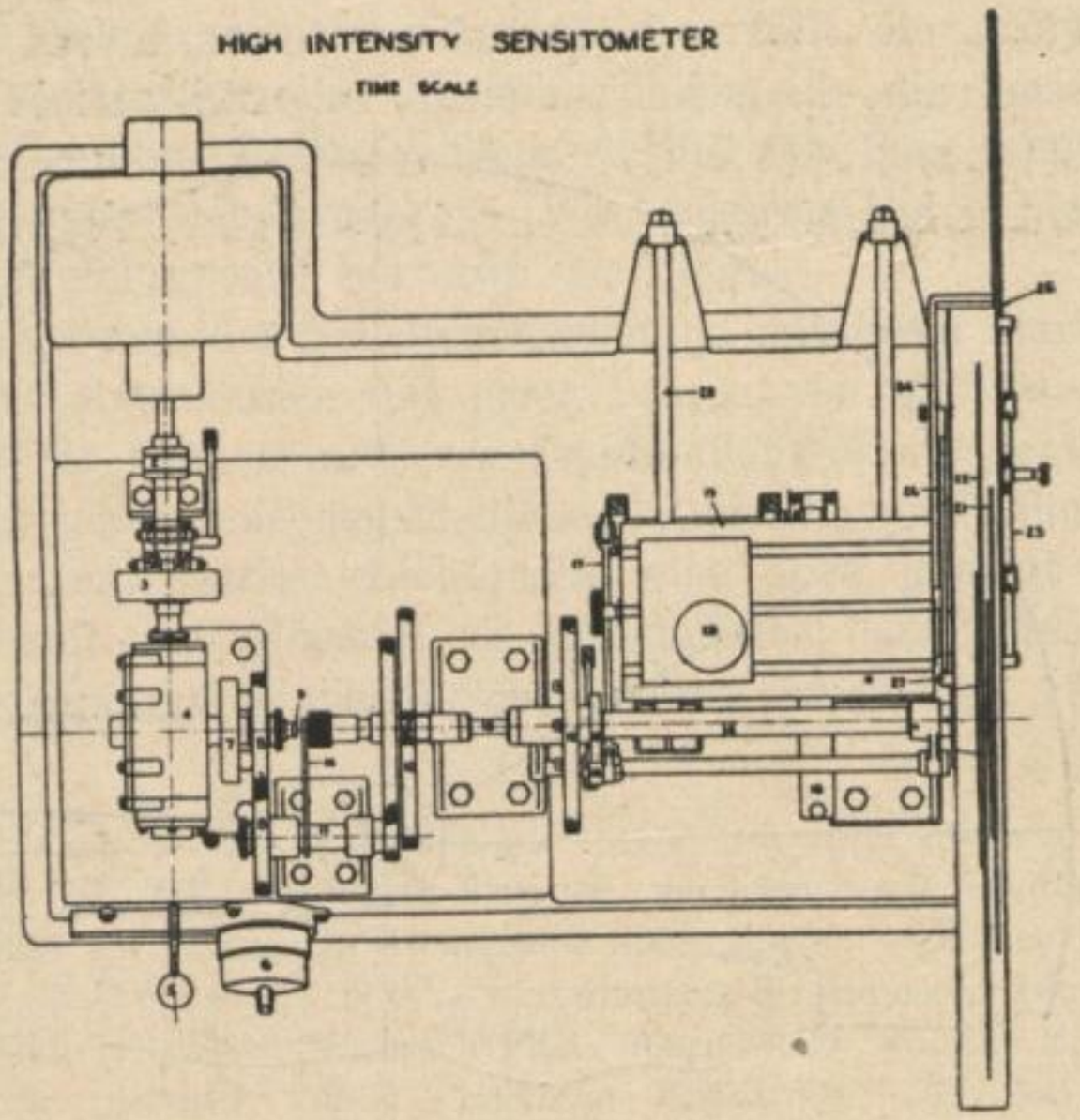


Abb. 149. Schematische Zeichnung des Jones und Chambers „High Intensity Sensitometer".

Die Anordnung des Apparates mit den Sektorenscheiben und dem elektrischen Antrieb der Vorrichtung zur Bemessung der Expositionszeit ist aus Abb. 150 ersichtlich.

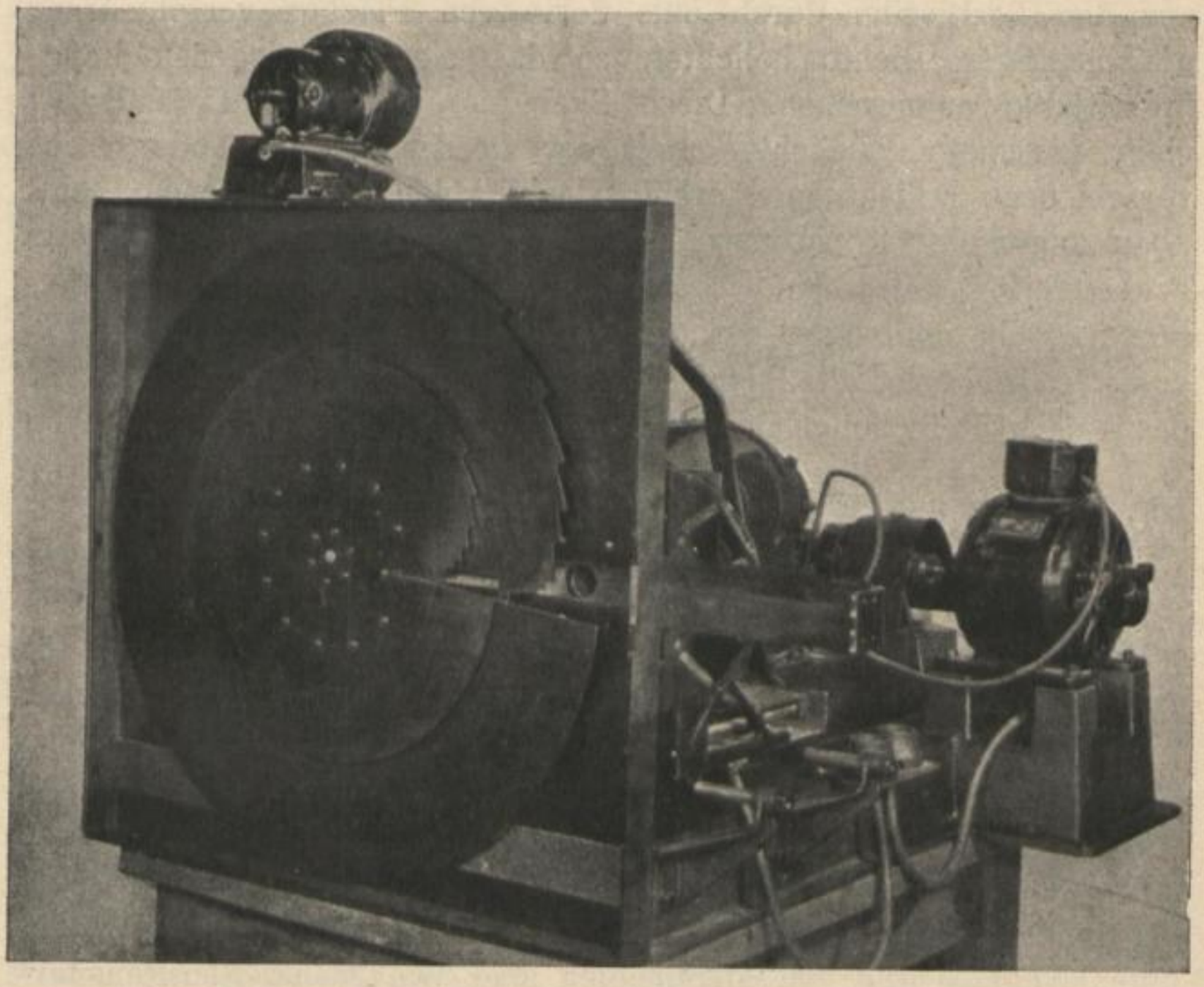


Abb. 150. Rückansicht des Jones und Chambers „High Intensity Sensitometers" nach Entfernung des Verschlußkastens; die beiden Sektorenscheiben sind ersichtlich.

Diese sehr komplizierten und schwierig zu behandelnden Instrumente wurden im Kodak-Vorschuß-Laboratorium zu fundamentalen Untersuchungen über die photographischen Schwärzungsvorgänge bei sehr großen Variationen der Belichtungszeit bis zu extrem hoher Exposition mit Zeitskala und intensiven Lichtquellen benützt, namentlich zur Bestätigung des Kronschen Schwärzungsgesetzes.

Einige der damit gewonnenen Versuchsergebnisse sind im Kap. XVI, in der Tabelle auf S. 323 und auf S. 64 mitgeteilt.

IV. Spezial-Sensitometer zur Bestimmung der Kopierzeit für Kinematographie.

Sensitometer zur Bestimmung der Lichter, um die Kopierzeit, welche für die verschiedenen Kino-Szenen eines Filmnegatives erfordern, genau er-

mitteln zu können: Für Kinofilm-Laboratorien konstruierten C. E. Ives und J. I. Crabtree ein Sensitometer, das in der Hauptsache aus einer Kopiermaschine besteht; in dieser wird das Negativ aus den Positivfilm durch eine Serie von Flächen verschiedener gleichmäßiger Dichte belichtet, so daß sie verschiedenen Lichtintensitäten entsprechen. Diese Skala ist so abgestuft, daß bei einer bestimmten Belichtungszeit der Positivfilm neun oder mehr verschiedene Belichtungen erhält, die mit den verschiedenen Lichtabstufungen der Kopiermaschine übereinstimmen. Der entwickelte Probestreifen läßt dann erkennen, welches Bild die richtige Belichtungszeit empfangen hat, eine auf dem betreffendem Film mitkopierte Zahl gibt die richtige Kopierdauer an. (Mitteil. Nr. 324 des Kodak Forschungslab. Phot. Indust. 1928. S. 405 mit Abb.)

V. Watkins und Wynne's Standards zur Empfindlichkeitsmessung einer Platte.

Hier sind einige in England für praktische Zwecke der Abschätzung der richtigen Exposition gebräuchliche Bezeichnungen für die Plattenempfindlichkeit erwähnt, obschon ihr wissenschaftlicher Wert gering ist; sie haben wohl nur für Amateurphotographen, welche sich solcher Expositionsmesser bedienen, Interesse.

Watkins Standard der Empfindlichkeit ist eine Platte, welche mit 2 Sekunden und einem Objektiv f/8 im Mai oder Juni mittags, bei Sonnenschein und bei einem Bildabstande von ungefähr 7 m ein gutes Negativ gibt; im allgemeinen sind Watkins-Sensitometergrade doppelt so groß als die von Hurter & Driffield. — Wynne drückt die Empfindlichkeit einer Platte durch die Größe einer Blende aus, durch welche die Platte das Aktinometerzeitmaß erreicht, für eine korrekte Exposition auf einen normalen Bildgegenstand. Hierbei erfordert die als f/8 bezeichnete Empfindlichkeit beim besten Sommerlichte nur 1 Sekunde Aktinometerzeitmaß, die Belichtungszeit von einer Sekunde, oder: die Blende f/8 braucht die Belichtungszeit 1 Sekunde für die Wynnesche Empfindlichkeitsanzeige 1. — Um Wynne-Grade in Hurter-Driffield-Grade umzurechnen, erhebt man erstere zum Quadrat und dividiert durch 64; Hurter-Driffield-Grade wandelt man in Wynne-Grade um durch Dividieren durch 64 und Ausziehen der Quadratwurzel.

VI. Die Spektral-Sensitometrie. — Photometer im Ultraviolett.

Die relativen Farbenempfindlichkeiten der photographischen Platten können (im monochromen Licht) mit reinen Spektralfarben

ermittelt und aus den photographischen Spektralkurven gleicher Schwärzung abgeleitet werden; hierüber wurde bereits auf Seite 229 berichtet und ein Beispiel gegeben. Auch bei der Sensitometrie im Spektrum spielt die Verteilung der Energie der farbigen Strahlen in der verwendeten Lichtquelle (s. S. 213 u. 324) eine große Rolle. Die Farbenverteilung hängt von der Lichtquelle, von der Dispersion und selektiven Absorption der benützten Optik ab; sie ist anders im prismatischen Spektrum als im Gitterspektrographen.

Die ideale Lösung dieser Fragen besteht in der Reduktion aller Spektralkurven auf ein ideales Spektrum, in welchem alle Teile auf ein und dieselbe Energie reduziert sind; dies kann z. B. mit dem Bolometer geschehen (vgl. solche Kurven und sensitometrische Angaben auf S. 245).

Für die Phototechnik ist ein „Standard-Spektrograph“ mit Glasprisma von bekannter Absorption mit einer bestimmten Lichtquelle für praktisch sensitometrische Zwecke zu empfehlen [1]).

Am einfachsten gestaltet sich die Spektral-Photometrie und -Sensitometrie mit Spektrographen, deren Kollimatorspalt durch Lockyersche Spaltriegel in schmale Teile zerlegt werden kann und die überdies eine präzise Verschiebung der Kassette gestatten. Solche Apparate wendete Eder zu seinen wissenschaftlichen Untersuchungen über Sensitometrie und über die Bestimmung der relativen Farbenempfindlichkeit seit 1899 an und diese von ihm herrührenden Konstruktionen befinden sich im photochemischen Laboratorium der Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt (Glas-, Quarz- und Konkavgitterspektrographen). Bei konstanten Lichtquellen kann man durch progressive Belichtung zweckdienliche Proben von nebeneinanderliegenden Serien verschiedener Exposition erhalten und übersichtlich die Wirkung des Spektrums auf das Photomaterial quantitativ feststellen.

Man kann auch eine Lichtwelle verwenden, deren Strahlengang geteilt wird.

Bei spektralphotometrischen Absorptionsmessungen wird in den Strahlengang des einen Lichtbündels eine kontinuierliche Lichtschwächung mittels rotierender Blenden, schwarzen Drahtgittern, Keilen oder dergl. eingeschaltet.

Diese Untersuchungen über heterochrome Photometrie und Sensitometrie gehören in das Gebiet der Spektralanalyse und werden in der Phototechnik nur in sehr beschränktem Maße verwendet.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Über die Methoden der photographischen Spektralphotometrie schrieb L. A. Jones (Nr. 314 der Kodak-Mitteilungen, Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie 1928, Bd. 25, Heft 9; Die Kinotechnik 1928, S. 384). Als Lichtquelle diente eine Wolframlampe in einer Quarzbirne mit einer Farbtemperatur von 2960° absolut, welche im Bezirk 290—400 mit dem Sonnenlicht verglichen wurde. (Siehe auch Harrison, Jour. Optic Soc. Americ. 1925, Bd. 11, S. 113 und 141.)

Die photographische Spektral-Photometrie wurde in den Berichten des Kongreß-Komites der Optical Society Americ. kritisch erörtert. (Jour. Opt. Soc. Amer. 1926, Bd. 10, S. 222 und Bd. 11, S. 359, ferner L. A. Jones, „A New Method for Photographic Spectrophotometry", Jour. Opt. Soc. Amer. 1925, Bd. 10, S. 561.)

H. E. Howe, „On a Modification of the Hilger-Sector Photometer Method for Measuring Ultraviolet Absorption". (Physical Review 1916, Bd. 8, S. 674.) — Bureau of Standards. Sci. Paper No. 440; Tech. paper No. 148. — Kellner, Spektrophotometrie (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1926, S. 79 u. 85).

A. L. Schoen: „Eine photographische Methode der Spektralphotometrie im Rot und Infrarot". (Mitteilung Nr. 293 des Forschungslaboratoriums der Eastman-Kodak Co. in Rochester; Zeitschr. f. wiss. Phot. 1927, XXIV. Band, S. 326.) — Jules Baillaud (Scienc. et Ind. Phot., Juni u. Juli 1925, Bd. 5; Internat. Phot. Kongreß in Paris 1925, Kongreßbericht 1926, S. 77); Baillaud benutzt Azetylenlicht.

Für die Spektrosensitometrie gestaltet sich am einfachsten die Herstellung progressiv belichteter Streifen auf der zu prüfenden Platte und Durchmessung ihrer photographischen Schwärzung im Mikrophotometer in schmalen Spektralzonen. Man erhält so sensitometrische Kurven mit einer Zeitskala.

Man kann aber auch die Intensität der wirkenden Spektralzonen durch Vorschalten eines Graukeiles vor den Spalt des Kollimators oder durch rotierende Sektorscheiben, die keilkörmige Beleuchtung des Spaltes geben, oder mittels eines Satzes von schwarz gebrannten Messingdraht regulieren (Eders Jahrb. f. Phot. 1927. S. 130). Analog verläuft die photographische Messung der Lichtintensität von Licht verschiedener Wellenlänge, die sogenannte heterochrome Photometrie.

Wenn man die absolute Intensitätsverteilung einer Lichtquelle *A* im Spektrum kennt und andererseits die relativen photographischen Intensitäten zu einer zweiten Lichtquelle B, dann findet man die absolute Intensität der Lichtquelle *B* für eine gegebene Wellenlänge nach der Formel

$$\frac{\text{Photogr. Intensität von } B}{\text{Photogr. Intensität von } A} \times \text{absolute Intensität von } A.$$

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Diese spektralphotometrische Methode führten S. G. Baker und R. Hirst aus (Proceed. Opt. Convention 1926. Bd. I. S. 189; Scienc. et Ind. Phot. März 1927, S. 27), ebenso Micholson & Merton (Brit. Journ. Phot. 1919, S. 533); sie regulierten die Energieverteilung im Spektrum mittels Anbringung einer Graukeils vor dem Spalt.

J. Flügge und W. Ewald ermitteln das Gamma der Platten und deren Spektralempfindlichkeit; sie exponieren unter einem Graukeil gegen die zu prüfende Lichtquelle so lange, bis sie mit beiden Lichtquellen die identischen Schwärzungen erhalten, woraus sie die Gesetze der heterochromen Photometrie ableiten (Zeitschr. f. Physik. 1925, Bd. 33, S. 325.)

EINUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

APPARATE ZUR SCHWÄRZUNGSMESSUNG. — DENSOMETER UND DENSOGRAPHEN. — ABHÄNGIGKEIT DER DICHTE UND KOPIERGRADATION VON DER ZERSTREUUNG DES LICHTES. — SELBSTREGISTRIERENDE PHOTOMETER.

Die genaue Bestimmung der Schwärzung photographischer Platten (im Entwickler oder im Kopierverfahren) kann durch direkte Messung der Lichtundurchlässigkeit des Silberniederschlages erzielt werden.

Ch. Fabry führte am Pariser Photogr. Kongreß 1925 aus, daß der einfallende Lichtstrom, welcher eine photographische Platte trifft, sich in vier Teile spaltet:

1. Das absorbierte Licht, das in der photographischen Schichte in Wärme umgesetzt wird.

2. Das reflektierte Licht, das sich zusammensetzt aus nicht diffusem Licht und aus diffusem Licht, je nachdem es von der einen oder der anderen Seite der Platte reflektiert wird.

3. Das regulär durchgelassene Licht.

4. Das beim Durchgang durch die Silberschichte diffus gemachte Licht. Über die Definition der „Dichte“ oder „Schwärzung“ photographischer Schichten s. Seite 21.

Die zur Messung der Dichte von Negativen oder dergleichen dienenden Instrumente nennt man „Schwärzungsmesser“ oder „Densometer“ (auch „Densitometer“); sobald diese Densometer die graphische Registrierung der Resultate gestatten, heißen sie „Densographen“.

Sie beruhen auf der Anwendung verschiedener Arten der Photometrie.

Über die Deckkraft der photographischen Silberniederschläge s. S. 24.

I. Martens Schwärzungsmessung mittels eines Polarisationsphotometers und ähnliche Densometer.

Zur Bestimmung der Lichtextinktion durch photographische Silberschichten D (Dichtemessungen) dient das sehr verläßliche Martenssche Polarisationsphotometer. Es wurde im Jahre 1900 von Martens konstruiert, (Physik. Zeitschr. 1900, S. 299) und im Jahre 1901 in eine zur Dichtemessung photographischer Negative besonders praktische Form gebracht[1]); die Firma Schmidt und Haensch in Berlin erzeugte den Apparat und brachte ihn in den Handel; er fand mit Recht große Verbreitung.

Abb. 141 zeigt die Außenansicht des Apparates. Die Beleuchtungsvorrichtung besteht in einem mittels einer kleinen Petroleum- oder elektrischen Metallfadenlampe erhellten Milchglasscheibe M. — Die zu messende Platte wird bei S auf den Tisch gelegt und durch das Polarisationsphotometer N beobachtet.

Die Einzelheiten der Konstruktion des Martens-Photometers gehen aus Abb. 151 hervor.

A. Martens konstruierte 1900 ein Polarisationsphotometer, dessen Hauptbestandteile ein Zwillings- und Wollaston-Prisma sind.

Das von der beleuchteten Milchglasplatte *m* (Abb. 152) ausgehende Lichtbündel 2 tritt nach Reflexion an der versilberten Hypothenuse des Prismas *p* durch die Sammellinse *l* und die Öffnung *c* in das eigentliche Photometer ein. Dem Beobachter erscheinen die Felder 1 und 2 des Zwillingsprismas *z* durch die Öffnung *i* bzw. *c* hindurchbeleuchtet. Durch Drehen des Analysator-Nikols *N* stellt der Beobachter gleiche Helligkeit der Vergleichsfelder her und liest dann an dem Teilkreise *K* mittels des Index *J* den Winkel *v'* ab, um welchen der Analysator-Nikol *N* aus der Stellung, in welcher das Feld ausgelöscht worden war, herausgedreht worden ist. — Bei *S* ist ein Schieber angebracht, welcher gestattet, ein Milchglas in den Strahlengang einzuschieben. Die gemessene Absorption ist dann um vielmal geringer als ohne die Milchglasscheibe, weil ein engbegrenztes Lichtbündel durch eine geschwärzte Trockenplatte zum großen Teil diffus zerstreut wird, eine Ursache der Lichtschwächung, welche bei der Anwendung des Milchglases fast ganz wegfällt.

(Über den Einfluß von parallelem und diffusem Licht auf die Ergebnisse der Schwärzungsmessung s. S. 88.)

---

1) Phot. Korresp. 1901, S. 528. — Vgl. dieses Handbuch, Bd. I, 3. Teil, 9112, S. 200.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wird die Lichtmenge bei stark geschwärzten Platten sehr klein, dann wird der Drehungswinkel a' nahezu 90°; dann ist die Ab-

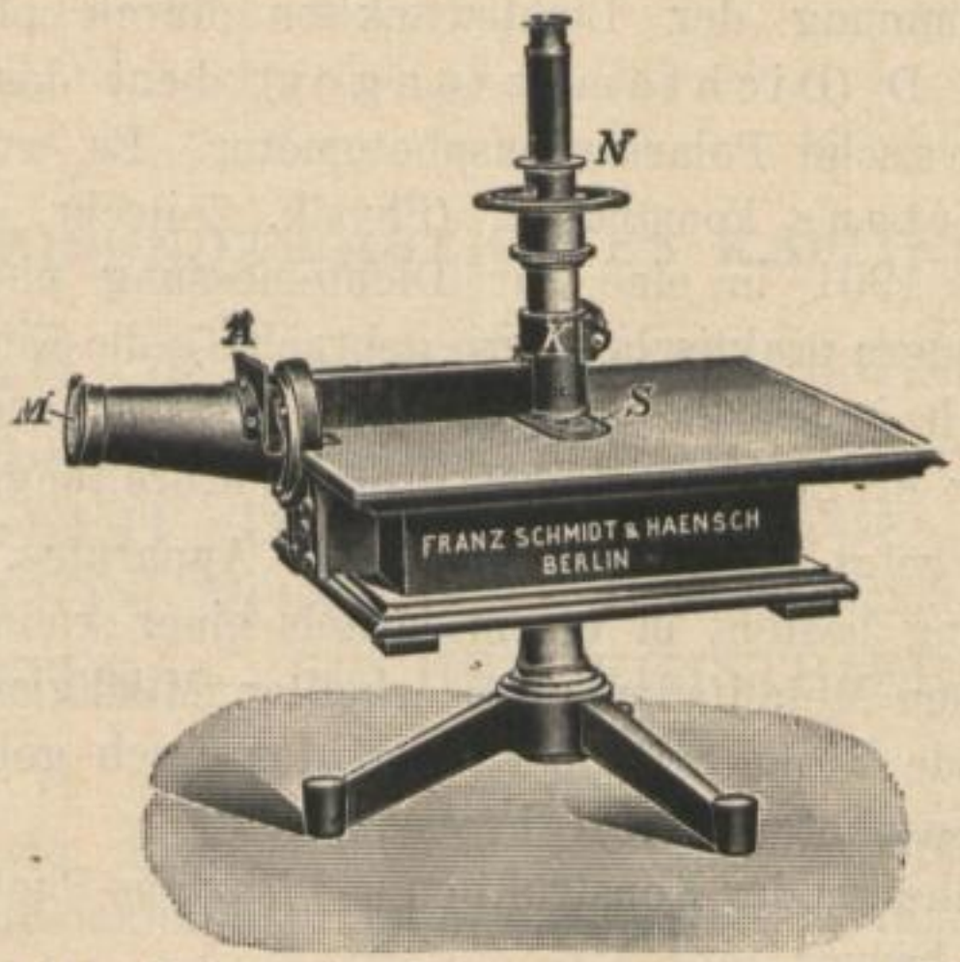


Abb. 151. Polarisations-Schwärzungsmesser von Martens.

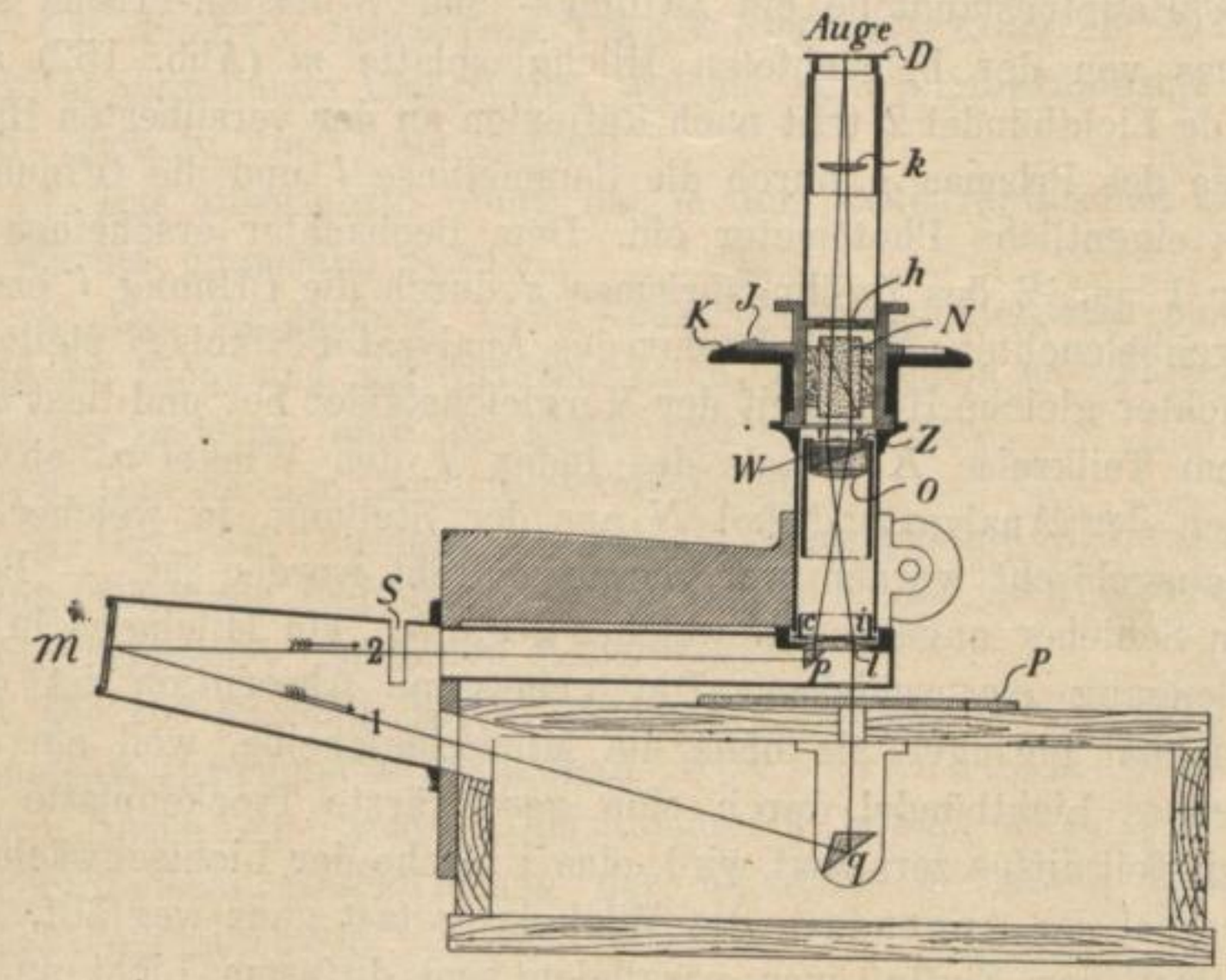


Abb. 152. Polarisations-Schwärzungsmesser von Martens.

lesung viel ungenauer als die Einstellung. Um diesen Übelstand zu vermeiden, schaltet man in das Strahlenbündel 2 eine in den Schlitz

S gestellte passend geschwärzte Trockenplatte ein (Martens, Physik. Zeitschr. 1900, S. 299; Phot. Korresp. 1902, S. 500).

Dieser Martenssche Polarisationsphotometer wurde vom Verfasser vielfach erprobt und derartige Polarisationsphotometer sind nahezu unentbehrliche Meßinstrumente zur Ermittlung der Konstanten bei photographischen Schwärzungsmessungen.

Veränderte Konstruktionen des Martensschen Photometers gaben Maximowitsch (Phot. Korr. 1909, S. 587; Eders Handbuch I, 3, 1912, S. 203); ferner E. Goldberg, (Phot. Korr. 1917, S. 322), Weigert (ebenda S. 324) an.

Andere Beschreibungen von Schwärzungsmessern gaben R. Leumann (Phot. Ind. 1913, S. 498), H. Lux (Phot. Korresp. 1920, S. 13), K. Schrott (Phot. Korr. 1918, S. 294), W. B. Ferguson (Phot. Journ. 1924, S. 30), A. J. Bull und H. M. Cartwright (Journ. Scientif. Instruments 1923, I., S. 74) u. a.

Die Berechnung der Dichte (Schwärzung) der photographischen Negative im Martensschen Polarisationsphotometer erfolgt nach der Größe des Drehungswinkels der Nikol-Prismen am Okular und zwar nach der Formel

$$\text{Dichte} = \log tg^2 \alpha = 2 \log tg \alpha.$$

wobei $\alpha = 45 + \varepsilon$ und ε die Ablesung am Instrument ist. Dem Winkel α entspricht die Schwärzung (Dichte) D, was in der nachfolgenden Tabelle[1]) zusammengestellt ist. Daselbst ist der Zusammenhang des Drehungswinkels am Okular (a) mit der dazugehörigen Dichte (D) angegeben.

Martens beleuchtete seinen Schwärzungsmesser mit diffusem Lichte. Paralleles direktes Licht („gerichtetes Licht") würde andere Resultate geben.

Densometer mit Graukeilen (photographischem Silberkeil) von Hartmann.

Die Dichtemessung mit geeichten Graukeilen wurde mit dem Gelatine-Graukeil von Goldberg eingeführt und sie fand vielfach Verwendung. Über den registrierenden Goldbergschen Densographen wird später (s. S. 475) berichtet, ebenso über verschiedene derartige Konstruktionen.

Dichtemessungen im diffusen und im gerichteten Licht.

Mißt man die Dichte von photographischen Negativen oder Diapositiven mit dem Polarisationsphotometer mittels gerichtetem, annähernd parallelem direkten Licht (Projektionslampe), so erhält man andere Werte für die Dichte der Silberniederschläge als im

1) Aus Eder, Rezepte, Tabellen und Arbeitsvorschriften f. Photographie 12. u. 13. Aufl. 1927, S. 250.

Tabelle zur Ermittlung der Dichtigkeit mittels des Martensschen Polarisationsphotometers.

a	*D*	*a*	*D*	*a*	*D*
89½	4,118	79	1,422	64	0,623
89	3,516	78½	1,383	63	0,585
88½	3,163	78	1,344	62	0,548
88	2,914	77½	1,308	61	0,512
87½	2,720	77	1,273	60	0,477
87	2,561	76½	1,239	59	0,442
86½	2,427	76	1,205	58	0,408
86	2,312	75½	1,172	57	0,374
85½	2,208	75	1,143	56	0,342
85	2,116	74½	1,114	55	0,310
84½	2,033	74	1,085	54	0,278
84	1,957	73½	1,056	53	0,246
83½	1,887	73	1,029	52	0,215
83	1,822	72	0,975	51	0,184
82½	1,761	71	0,925	50	0,153
82	1,704	70	0,879	49	0,122
81½	1,651	69	0,833	48	0,091
81	1,600	68	0,788	47	0,060
80½	1,553	67	0,745	46	0,030
80	1,507	66	0,703	45	0,000
79½	1,464	65	0,663		

diffusen Lichte, die Schwärzungskurven sind verschieden, sich geometrisch nicht ähnlich und liefern verschieden Werte für die Inertia. Diese Erscheinung beschrieb zuerst Callier im Jahre 1910 (Eders Jahrbuch f. Photogr. 1910, S. 451, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1909, S. 257) und man nennt diese Erscheinung wohl auch den „Callier-Effekt“[1]). Der Grund dafür ist, daß der körnige

1) Die Anwendung des Opalglases als Diffusor bei diesen Schwärzungsmessungen hatte wohl schon Abney (1890) präzisiert, aber Callier studierte zuerst den Unterschied der Schwärzungsmessungen, der sich bei diffusem und gerichtetem Licht ergibt. A. J. Bull und H. Mills Cartwright (Phot. Journ. 1925, S. 177) fanden, daß die Streuung des Opalglases keine vollkommene ist und durch Zusatz der photographischen Schwärzung verändert wird. Es wird daher der Streuungsverlust bei der Messung nicht völlig aufgehoben, so daß mehrere Schwärzungen übereinander gelegt nicht die genaue Summe der Einzelnschwärzungen geben. Bei schrägem Lichtdurchfall wird durch die Schwärzung mehr Licht absorbiert und man erhält dann höhere Werte für die Schwärzungen, als wenn man nur das schwach abgelenkte Licht faßt. Die Autoren verwenden ein Kugelphotometer nach dem Prinzipe des Ulbrichtschen Kugel- oder Integral-Photometers. Diese Me-

Silberniederschlag als lichtzerstreuendes Medium wirkt.

Das Beersche Gesetz, das eine feste Beziehung zwischen der Schichtendicke und dem Extinktionskoeffizienten aufstellt, gilt nicht für zerstreuende Medien.

Bei Dichtemessungen im gerichteten Lichte (nahezu parallel einfallende Lichtbündel) kommt die Lichtzerstreuung in den Silberpartikelchen der Negative zur Geltung.

Die Lichtabsorption in photographischen Negativen wird durch diese Zerstreuung des Lichtes derartig beeinflußt, daß die Werte für die Dichte eines Negativs differieren, je nachdem man das in der senkrechten (normalen) Richtung austretende Licht photometriert oder die absolute Helligkeit des durchgelassenen Lichtes in einem integrierenden Kugelphotometer mißt. Man unterscheidet in diesem Sinne zwischen der „diffusen Dichte“ und der „normalen Dichte“ eines Negativs. In beiden Fällen wird vorausgesetzt, daß das Licht als nahezu paralleles Strahlenbündel einfällt. Callier glaubte, daß ein konstantes Verhältnis zwischen beiden besteht und nahm an, daß die beiden Arten der Schwärzung durch die Gleichung $D_{\shortparallel} = q \cdot D_{+\!+}$ verknüpft seien, worin der Faktor Q. („Der Callier'sche Faktor“) für einen gewissen Bereich konstant sein sollte. Dieser Faktor schwankt bei hochempfindlichen Emulsionen mit gröberem Korn von 1,8 bis 2, fällt bei mittleren Silberkorn auf 1,5 und bei sehr feinem auf etwa 1,25. Es gibt in Wirklichkeit keine Parallelität zwischen den beiderlei Dichten.

Der Dichten-Unterschied bei der Schwärzungsmessung im direkten und diffusen Lichte (mit hinterlegter Opalplatte) ist am größten bei grobkörniger Rapidemulsion, geringer bei normaler mittelfeiner Porträtemulsion und am geringsten bei feinkörniger Diapositivemulsion (Kinopositivfilm). Dies belegt Zelger (a. a. O.) durch folgende Tabelle ziffermäßig:

Feinkörnige Diapositiv-Emulsion			Mittelfeine Negativemulsion			Grobkörnige Emulsion		
Schwärzung im		Verhältnis $\frac{A}{B}$	Schwärzung im		Verhältnis $\frac{A}{B}$	Schwärzung im		Verhältnis $\frac{A}{B}$
A direkten Licht	B mit Opalplatte		A direkten Licht	B mit Opalplatte		A direkten Licht	B mit Opalplatte	
1,05	0,90	1,10	1,00	0,75	1,33	0,99	0,50	1,89
1,85	1,50	1,23	1,60	1,05	1,52	1,88	1,00	1,88
2,50	2,10	1,19	2,30	1,50	1,53	2,56	1,40	1,83
3,50	2,60	1,35	3,15	1,95	1,53	3,53	1,90	1,81

Es besteht also zwischen beiden Reihen der Messungen keine Proportionalität.

---

thode ist von Georges Moreau in seinem sehr guten Buche „La Sensitometrie Photographique“, Paris, Gauthier-Villars & Cie. 1928 empfohlen und genau beschrieben, aber sie ist zu kompliziert für den Gebrauch.

Die Feinheit des Silberkornes übt also einen merklichen Einfluß auf die Messungsergebnisse aus; die Art der Entwicklung der Platte scheint aber von unwesentlichem Einfluß zu sein.

Das Opalglas in unmittelbarer Nähe oder im Kontakt gibt die besten Meßresultate; entfernt man die Opalplatte aber auf ½ oder 2 cm vom Negativ, so nähern sich diese Meßwerte allmählich den Resultaten der Messung im direkten gerichteten Lichte (Zelger, Pariser Intern. Phot. Kongreß 1925; Bull. Soc. franç. 1926, S. 241; Phot. Korresp. 1927, S. 153).

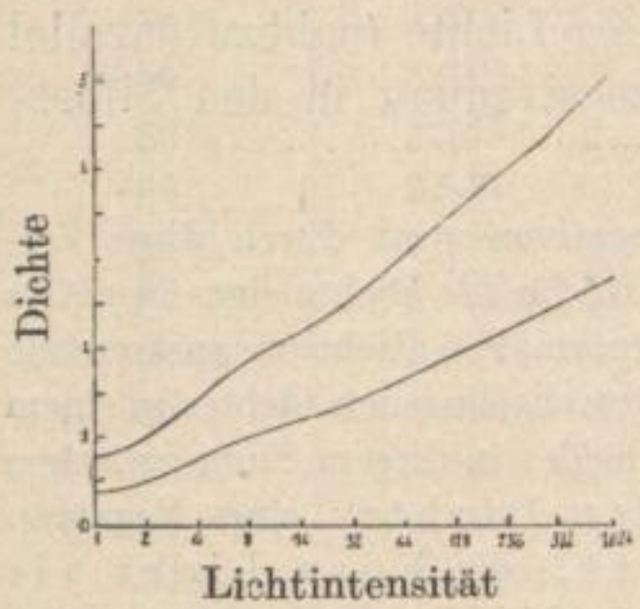


Abb. 153. Die obere Kurve: Dichtemessungen in direktem Licht. Untere Kurve: Dichten im Kontakt mit einem Opalglas.

Die Messungen im direkten parallelen Lichte weisen größere Schwärzungskontraste auf, wie Abb. 153 zeigt, welche der sehr eingehenden Abhandlung von Zelger s. S. 467) entnommen ist [1]).

F. F. Renwick und O. Bloch drückten (im Gegensatze zu Callier) den Zusammenhang zwischen den Dichten D ǁ und D+ durch eine Exponentialgleichung aus (Photogr. Journ. Febr. 1916) in folgender Form:

$$\log D \text{ diff} = a \log D \text{ parall} + b,$$

wo D diff. ($D+$) und D parall. (D ǁ) die Dichte ein und derselben Schwärzung einerseits mit diffusem Licht (Opalplatte im Kontakt) und im direkten (parallelen) Licht darstellen, a und b konstante Zahlen repräsentieren, die für ein und dasselbe Negativ annähernd konstant, aber variabel von einem Negativ zum andern sind.

Diese Regel stimmt nach L. P. Clerc annähernd. Bei Emulsionen mit mittelfeinem Korn, wie sie der Negativfilm von Pathé-Cinema in Paris als Normal-Negativ-Emulsion trägt, sind hier für $a = +1.0455$ $b = -0.286$; diese Regel stimmt aber nicht für Diapositiv- und gröbere Emulsionen (Pariser Phot. Kongreß 1925).

Silberstein und Tutle [1]) untersuchten diese Verhältnisse theoretisch genauer und kamen zu folgender Gleichung für die Dichte:

$$10^{-D} = \varepsilon\, 10^{-D'} + (1 - \varepsilon)\, 10^{-\beta D'},$$

worin D die „normale Dichte“ und D' die „diffuse Dichte“, ε eine positive Konstante und β eine ebensolche größere als I sind.

---

1) Zelger, „Influence de la diffusion de la lumière dans mesures des densités et dans la copie photographique.“ Communication dans laboratoires d'essais Pathé-Cinéma. Paris (Pariser Phot. Kongreß 1925).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Reduziert man diese Gleichung auf die Transparenz T und T' für diffuse und normale Transparenz, so ergibt sich die Gleichung

$$T = \varepsilon\, T' + (1 - \varepsilon)\, F'^{\beta};$$

für einen Kino-Positivfilm war $\varepsilon = 0.25$ und $\beta = 1.496$; für einen Negativfilm $\varepsilon = 0.320$ und $\beta = 1.85$; für einen extrarapiden Kodakporträtfilm $\varepsilon = 0$ und $\beta = 1.474$ oder $D = \beta D'$; für Chlorsilbergelatine auf Glas (dieselbe wie auf Veloxpapier) $\varepsilon = 0.21$ und $\beta = 1.20$. Meistens wächst ε mit der Korngröße, jedoch kommen Ausnahmen vor, wie bei den vorhin erwähnten extrarapiden Porträtfilmen, deren mittlere Korngröße eine beträchtliche ist und trotzdem für ε einen Wert $= 0$ zeigt (vgl. „Kopierdichte“ w. u.).

Nach diesen Betrachtungen kommen wir zu dem Schluß, daß man alle sensitometrischen Dichtemessungen, die zur Konstruktion der charakteristischen Kurve oder zu anderen Schwärzungsgesetzen führen sollen, im diffusen Lichte vornehmen soll. Deshalb pflegt man bei der Schwärzungs-Messung photographischer Silberschichten ein Opalglas einzuschieben und die Platte mit der Schichte nach unten daraufzulegen, um richtige Werte zu erhalten.

Dann sind die derartig visuell abgelesenen Dichten (Schwärzungen) proportional der effektiven Dichte der Negative bei photographischen Kopierverfahren.

Hurter und Driffield zeigten 1894 (Brit. Journ. Phot. S. 714 und 724), daß die Dichte eines Negativs sich beim Kopieren auf Bromsilberpapier im Kontakt verschiedenartig von der visuellen Dichte im durchfallenden Lichte äußert. Es kann ein Silberniederschlag die visuelle Dichte = 0,8 haben und erscheint dann beim Kopieren im Kontakt = 1,0 und beim Vergrößern mittelst Projizieren im gerichteten Lichte = 1,4.

Am 6. Intern. Kongreß für Photographie in Paris 1925 (s. Rapports des Kongresses, herausgegeben von Clerc und Labussiére, 1926. Verlag der Soc. Franç. de Phot. Paris, 51, Rue de Clichy) wurde als Norm die Dichtemessung der photographischen Negative bei diffusem Licht angenommen.

Kopierdichte. — Projektionsdichte.

Für die praktische Photographie ist die Dichte der Negative, die beim Kopierverfahren wirksam ist, von besonderer Bedeutung.

---

1) Renwick und O. Bloch (Phot. Jour. Februar 1916).

1) Nach L. Silberstein und Clifton Tutle, Mitteilung der Eastman Kodak Co. Nr. 297. Sc. et ind. phot. 1927, S. 25. — Auch Journ. Optic. Soc. Amer. 1927, Bd. 14, S. 365; Phot. Industr. 1928, S. 265.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Den Effekt der Dichte eines Negativs beim Kopieren (im Kontakt) nennt man „Kopierdichte“ (engl. „Printing Density“) zum Unterschied zu dem Effekt beim Projizieren („Projektions-Dichte“).

F. C. Toy definiert die Kopierdichte als die Dichtigkeitszahl jener Schwärzung des Negativs, welche im Kontakt mit einem Kopiermedium denselben Effekt auf der Kopie gibt, wie die gleiche Lichtintensität durch blankes Glas allein hervorbringen würde. — Die visuell (mit Opalplatte) gemessene Dichtigkeit ist zur Kopierdichte gerade proportional [1]), falls die Negative grauschwarze Farbe haben, und erstere kann durch Multiplikation mit 0,92 in die Toysche Kopierdichte umgerechnet werden (W. B. Ferguson, Phot. Journ. 1926. Bd. 66. S. 294).

Bei einem Intervall der Dichten von 0,1 bis 1,8 sind die „Kopier-Dichten“ proportional den visuell auf den Platten im Kontakt mit Opalglas gefundenen Dichten. Dagegen besteht eine so einfache Beziehung nicht zwischen den Dichtemessungen im direkten parallelen und denen im zerstreuten Lichte.

In Anbetracht dieser Umstände sollen die hinter Opalglas gemessenen Dichten der Negative als Normalwerte angesehen werden.

IV. Einfluß der Diffusion des Lichtes auf die Kontraste der erhaltenen Kopien nach demselben Negativ.

Man kann die Kopierung eines Negatives in verschiedener Weise vornehmen, z. B.:

a) Kopie im Kontakt mit dem Negativ hinter einem Opalglas,
b) Kopie im direkten Lichte einer punktförmigen Lichtquelle,
c) Kopie in derselben Größe, wobei das Negativ hinter einem Opalglas im Abstande von 15 mm durch einen Kondensator erleuchtet ist,
d) Kopie durch Projektion (in derselben Größe) im direkten Licht eines Kondensors, ohne Zwischenschaltung irgend eines Diffusors.

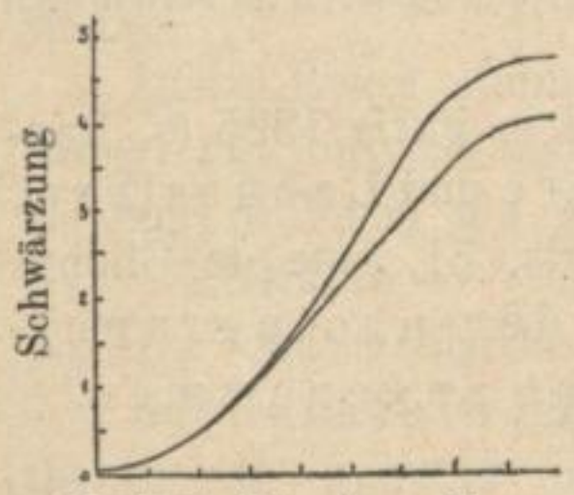


Abb. 154. Die obere Kurve: d; die untere: a, b, c,

Zelger führte im „Laboratoire' d'Essais Pathé-Cinema“ in Paris Schwärzungsmessungen aus und fand, daß die Kopien nach a, b und c dieselben Schwärzungskurven gaben, während d sehr gesteigerte Kontraste zeigte, was in Abb. 154 wiedergegeben ist. (Pariser Phot. Kongreß 1925.)

---

1) F. C. Toy, Vereinheitlichung der Messung photographischer Dichten (Phot. Journ. 1925, S. 956; Pariser Kongreß 1925).

VIII. Hartmanns Mikrophotometer.

Die meisten der gewöhnlichen Schwärzungsmesser (z. B. der Martenssche) erfordern die Vorlage einer ziemlich großen Fläche der geschwärzten photographischen Platte, um gute Messungen zu erzielen; zu kleine Flächen im Gesichtsfeld machen die Messungen unsicher.

Die Beurteilung der Dichte sehr kleiner Flächen, — unbeeinflußt von ihrer Nachbarschaft —, erfolgt mittels sog. „Mikrophotometer". Ein derartiges vorzügliches Instrument konstruierte der Astronom J. Hartmann zunächst für astronomische Zwecke (Helligkeitsmessungen von Sternen auf photograph. Wege) für das astrophysikalische Observatorium in Potsdam im Jahre 1899 [1]) und sein Mikrophotometer fand bald seinen Weg in die photographischen Untersuchungslaboratorien.

Dieser hervorragende Präzisionsapparat Hartmanns fand sehr erfolgreich Anwendung zur Messung von Schwärzungen photogr. Platten für sensitometrische Zwecke, speziell zum Studium von Schwärzungsmessungen in sehr nahe nebeneinander liegenden Stellen von Negativen.

Man vergleicht mit diesem Instrument die Schwärzungen der zu prüfenden photographischen Platte mit einer sehr genau geeichten keilförmigen Skala von allmählich ansteigender Undurchsichtigkeit [1]). Diese Eichung erfolgt durch Vergleich mit verschiedenen anderen photographisch geschwärzten Feldern, die mit dem Martensschen Polarisationsphotometer in ihrer Dichte genau festgestellt worden waren.

Die Einrichtung des Hartmannschen Mikrophotometers ist im Nachstehenden beschrieben.

In Abb. 155 ist ein vertikaler Durchschnitt des Hartmannschen Photometers gegeben. Parallel zu einer horizontalen Grundplatte U wird von vier Säulen Z ein in der Mitte durchlochter runder Tisch von 25 cm Durchmesser, auf welchen die photographische Platte gelegt wird, getragen. Senkrecht über der Tischöffnung befindet sich das Objektiv eines gebrochenen Mikroskopes ABC, welches ein scharfes Bild des Plattenkornes in der Mitte der Basis des rechtwinkligen Reflexionsprismas B entwirft und mit dem Okular A beobachtet werden kann.

---

1) Eders Jahrbuch f. Phot. 1899, S. 107.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Das Prisma besitzt die von Lummer und Brodhun[1]) angegebene Einrichtung.

In *D* befindet sich ein zweites, genau gleiches Mikroskopobjektiv *G*, welches mittels des Triebes *E* auf die Schicht einer in *O* befindlichen Platte so eingestellt werden kann, daß das Bild ebenfalls in der Mitte des Doppelprismas liegt. In das Okular A sehend, wird man demnach in der Mitte des Gesichtsfeldes ein kleines Stück der auf den Tisch *L* gelegten Platte erblicken, während rings das übrige Gesichtsfeld vom Bild der Platte *O* erfüllt wird.

Die Platte *O* ist der eigentlich messende Teil, man kann sie als einen auf photographischem Wege hergestellten Photometerkeil be-

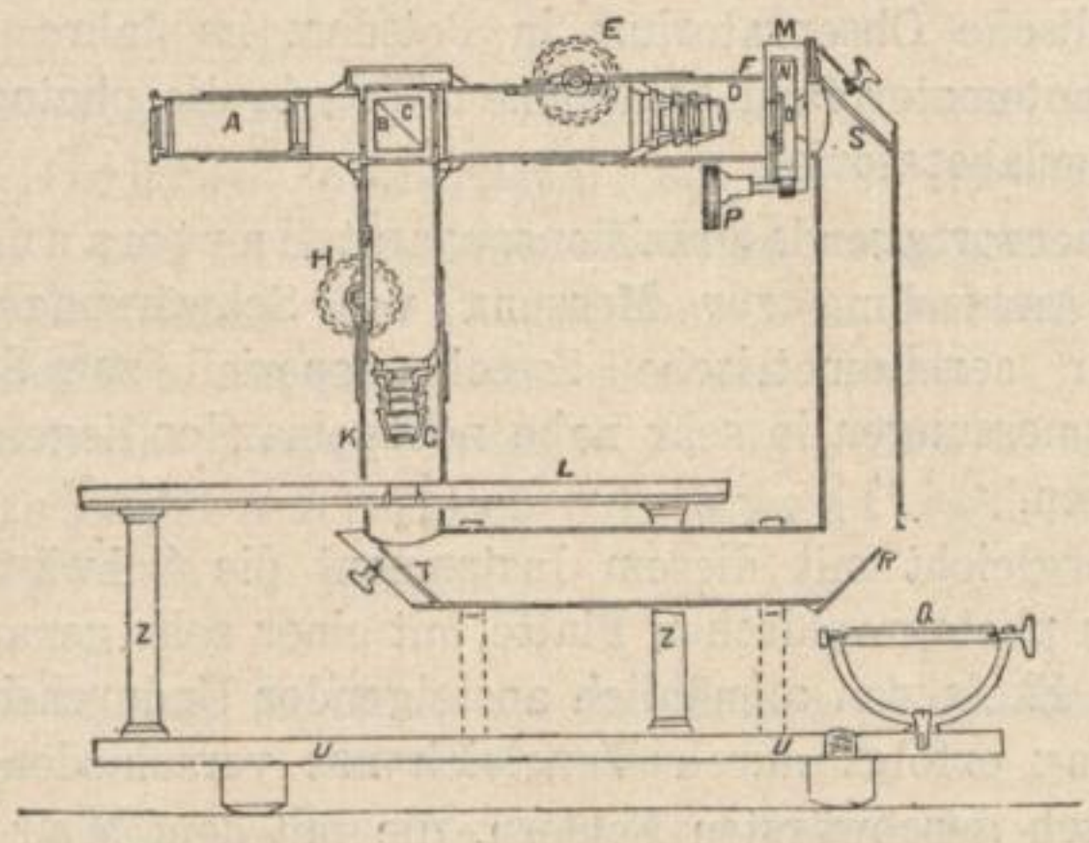


Abb. 155. Mikrophotometer von J. Hartmann.

zeichnen, welcher in der Längsrichtung der Platte eine gleichmäßig zunehmende Schwärzung zeigt.

Diese Keile stellt man z. B. mittels des Scheinerschen Sensitometers her, dessen rotierende Scheibe eine ununterbrochene Kurve enthielt, womit eine Bromsilbergelatineplatte belichtet und entwickelt wurde. Der Keil wird in einem Schieber *N* befestigt, der innerhalb des Rahmens *M* durch den Zahntrieb *F* senkrecht zur Mikroskopaxe verschoben werden kann. Die Stellung des Schiebers im Rahmen wird an einer Millimeterteilung abgelesen.

Als Lichtquelle diente eine Lampe, die ihr Licht direkt senkrecht auf die Platte *R* wirft. Schwankungen der Helligkeit der Lichtquelle sind auf die Messungen ohne jeden Einfluß. Die Spiegel *S* und *T*

1) Vgl. „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, 9, 1889. S. 23.

können zur Reinigung bequem aus den Rohren herausgezogen werden. Um alles Seitenlicht fernzuhalten, sind über die Objektivenden der Mikroskope noch Hülsen F und K geschoben.

Auf den Tisch L legt man zuerst die prüfende Platte und verschiebt den Keil so lange, bis diese Stelle in der Mitte des Prismas genau dieselbe Schwärzung zeigt wie ihre Umgebung.

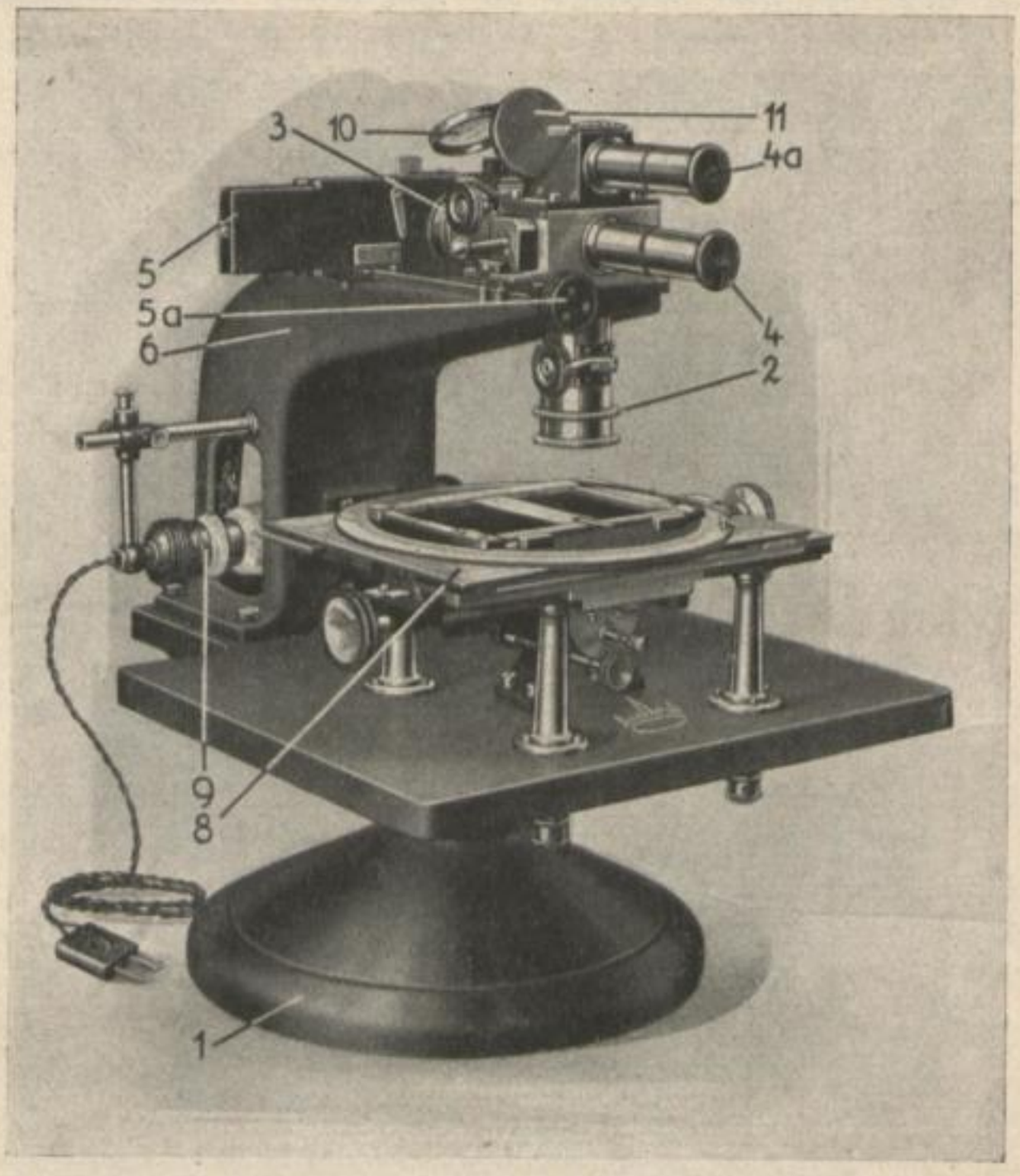


Abb. 156. Mikrophotometer Ampho 3 mit Doppelokular.
1 Stativ, 2 Vertikales Mikroskop, 3 Horizontales Mikroskop, 4 Meßokular, 4 a Einstellokular, 5 Meßkeilgehäuse, 5 a Antrieb für Meßkeilverschiebung, 6 Spiegelgehäuse, 8 Objekttisch, 9 Lichtquelle, 10/11 Beleuchtungsspiegel.

Durch Vergleich des Skalenwertes des Photometerkeiles im Hartmannschen Mikrophotometer mit dem tunlichst genau auf ihre Lichtundurchlässigkeit im Martensschen Polarisations-Photometer gemessenen Normalstreifen (entwickelten Bromsilber-Gelatineplatten) wird der Vergleichskeil geeicht.

Das Hartmannsche Mikrophotometer wurde zuerst vom Sternwarte-Mechaniker Toepfer in Potsdam, später von den Askania-

Werken A.-G. in Berlin-Friedenau, Kaiserallee 87/88, einer Neukonstruktion unterzogen und dabei alle Instrumente mit Doppelokular und zwei Lummer-Brodhunschen Würfeln ausgestattet. Die Einstellung des Objektes wird dadurch wesentlich erleichtert und zuverlässiger, daß nach Einstellung der zu photometrierenden Stelle der Platte der Würfel nicht mehr verschoben zu werden braucht. Die Größe der Spiegel beträgt bei normaler Ausrüstung gesehen

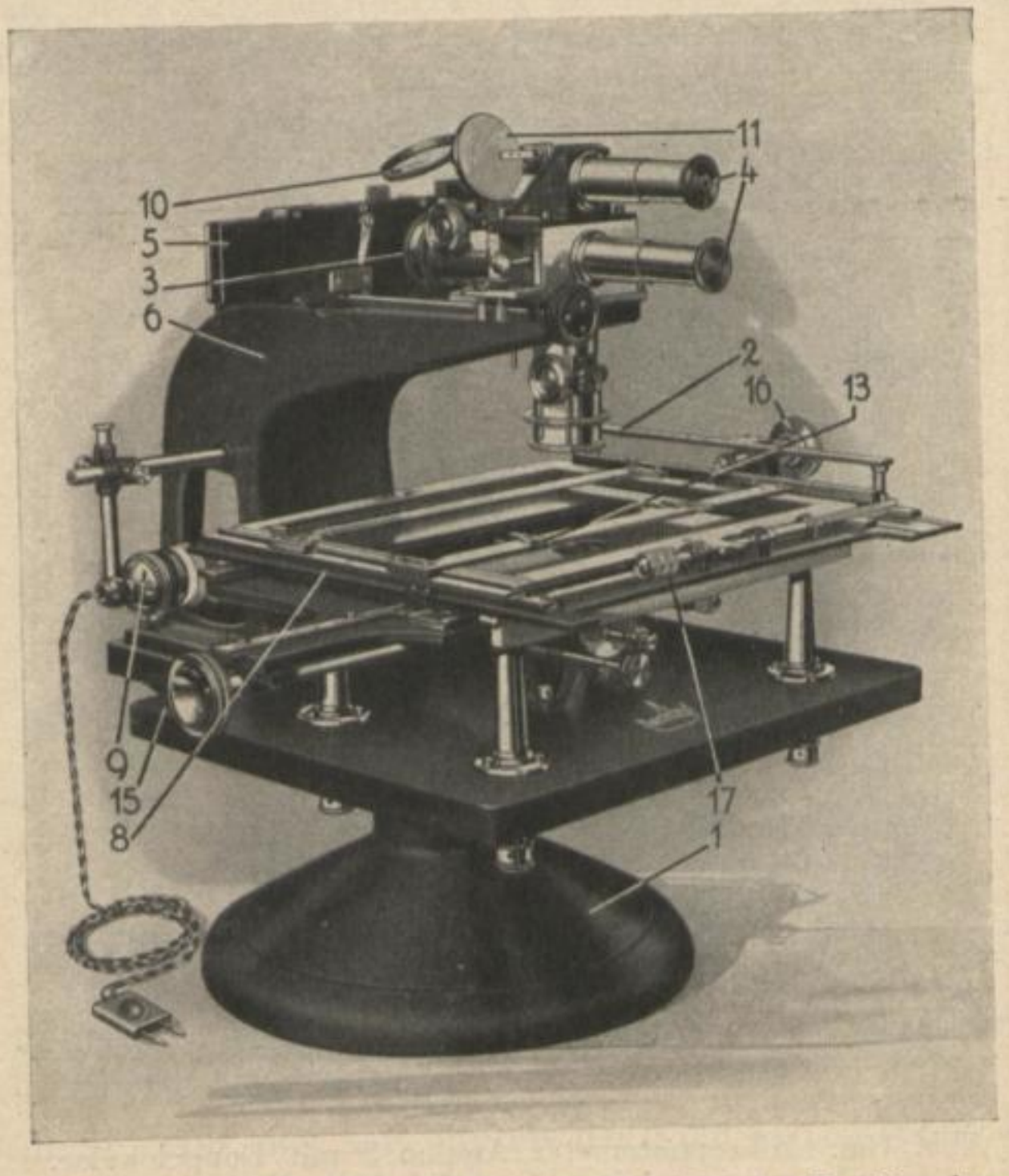


Abb. 157. Mikrophotometer Ampho 4 mit Objekttisch, Positionskorrektion der Plattenauflage, für Photogramme bis 20×24 cm.

1 Stativ, 2 Vertikales Mikroskop, 3 Horizontales Mikroskop, 4 Okular, 5 Meßkeilgehäuse, 6 Spiegelgehäuse, 8 Objekttisch, 9 Lichtquelle, 10/11 Beleuchtungsspiegel, 13 Plattenauflage, 15/16 Schlittenbewegungen, 17 Positionskorrektion.

0,1×1 mm und 0,5 mm rund. — Zur genauen Eichung der Meßkeile läßt sich in den vertikalen Lichtweg ein Nikol-System einschalten; Anbringung desselben Nikols in den horizontalen Lichtweg ist gleichfalls möglich. Die früher unmittelbar über der Platte befindliche Blende ist ersetzt worden durch Projektion einer aus-

wechselbaren Blende von unten her in die Schichtebene. Der früher nur zur Beleuchtung der zu photometrierenden Stelle dienende Lichtweg ist zu diesem Zwecke mit einem optischen System versehen.

Abb. 156 zeigt die verbesserte Ausführungsform des Hartmannschen Mikrophotometers mit Doppelokular Ampho 3 der Askania-Werke für Präzisionsmechanik und Optik in Berlin-Friedenau, Kaiserallee 87/88. — Hier ist 1 Stativ, 2 vertikales Mikroskop, 3 horizontales Mikroskop, 4 Meßokular, 4a Einstellokular, 5 Meßkeilgehäuse, 5a Antriebe für Meßkeilverschiebung, 6 Spiegelgehäuse, 7 Plattenblende, 8 Objekttisch, 9 Lichtquelle, 10/11 Beleuchtungsspiegel.

Ein noch vollständiger eingerichtetes Mikrophotometer Ampho 4 der Askaniawerke besitzt einen Objekttisch, Positionskorrektion der Plattenauflage für Photogramme bis 20×24 cm.

In Abb. 157 ist 1 Stativ, 2 vertikales Mikroskop, 4 Okular, 5 Meßkeilgehäuse, 6 Spiegelgehäuse, 7 Planblende, 8 Objekttisch, 9 Lichtquelle, 10/12 Beleuchtungsspiegel, 13 Plattenauflage mit Tischfedern, 14 Mikrometerschraube, 15 und 16 die Schlittenbewegung und 17 die Positionskorrektion.

Der hier beschriebene Hartmannsche Schwärzungsmesser wurde von Maximowitsch, Bechstein u. a. variiert. In Frankreich wurde ein dem Hartmannschen Mikrophotometer ganz ähnlicher Apparat von H. Buisson und Ch. Fabry (Comptes rendus, 1913, Bd. 156, S. 223) benutzt. — Sanger Shepherd nahm ein englisches Patent Nr. 23 429 auf einen Schwärzungsmesser (Brit. Journ. Phot. 1912, S. 1926 mit Abb.). — Zur Messung der Schwärzung sehr dichter Negative (bis 6,0), die sich schwierig gestaltet, beschreibt L. A. Jones ein „Densitometer" im Journ. Opt. Soc. Americ. 1923, Bd. 7, S. 231 (auch Abridg. Scientif. Public. Eastman Kodak, 1923. Nr. 160).

Ferner liegen Beschreibungen verschiedener Schwärzungsmesser vor von R. Leumann (Phot. Indust. 1913, S. 498), von H. Lux (Phot. Korr. 1920, S. 13), K. Schrott (Phot. Korr. 1918, S. 294), W. B. Ferguson (Phot. Journ. 1924, S. 30). A. J. Bull und H. M. Cartwright (Journ. Scientif Instruments. 1923, 74), Renwick und Benson (Brit. Journ. Phot. 1918, S. 224). — Ein thermoelektrischer Mikrophotometer von G. R. Harrison (Journ. Opt. Soc. Americ. 1925, Bd. 10, S. 157), ein thermoelektrischer Apparat von C. B. Bazzoni, R. W. Duncan und W. S. Mathews (Journ. Opt. Soc. Americ. 1923, Bd. 7, S. 1003). — Einen Schwärzungsmesser für photographische Papierkopien beschrieben Ch. Winther und E. H. Mynster (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1926, S. 298).

VIII. Der Densograph von Goldberg und andere derartige Dichtemesser.

Der Densograph Goldbergs bezweckt eine einfache Registriervorrichtung derjenigen Stellen eines geeichten Stolze-Goldbergschen Graukeiles, die der Schwärzung der zu prüfenden Platte

gleich sind. Der Apparat ist zunächst für phototechnische Zwecke bestimmt und dient zur raschen Herstellung von Schwärzungskurven im Sinne Hurter und Driffields. Er hat sich wegen seiner einfachen Handhabung, der Schnelligkeit der Messungen und der für praktische Zwecke genügenden Genauigkeit in der photographischen Industrie eingeführt. Der Goldbergsche Densograph wird von der Zeiß Ikon A.-G. in Dresden hergestellt und in den Handel gebracht.

Allerdings erreicht der Densograph an Genauigkeit nicht die Messungsergebnisse mit den präzisen Martensschen oder Hartmannschen Photometern. Der Densograph gibt aber die Messungsresultate in sehr kurzer Zeit, so daß man ihn bei vielen Arbeiten mit Vorteil in Gebrauch nehmen kann. — Für große Genauigkeit aber ist der Martenssche Apparat nicht zu entbehren, wie Stenger und Kujawa durch sorgfältige Messungen nachgewiesen haben (Phot. Ind. 1924, S. 953) und der Verfasser bestätigen kann.

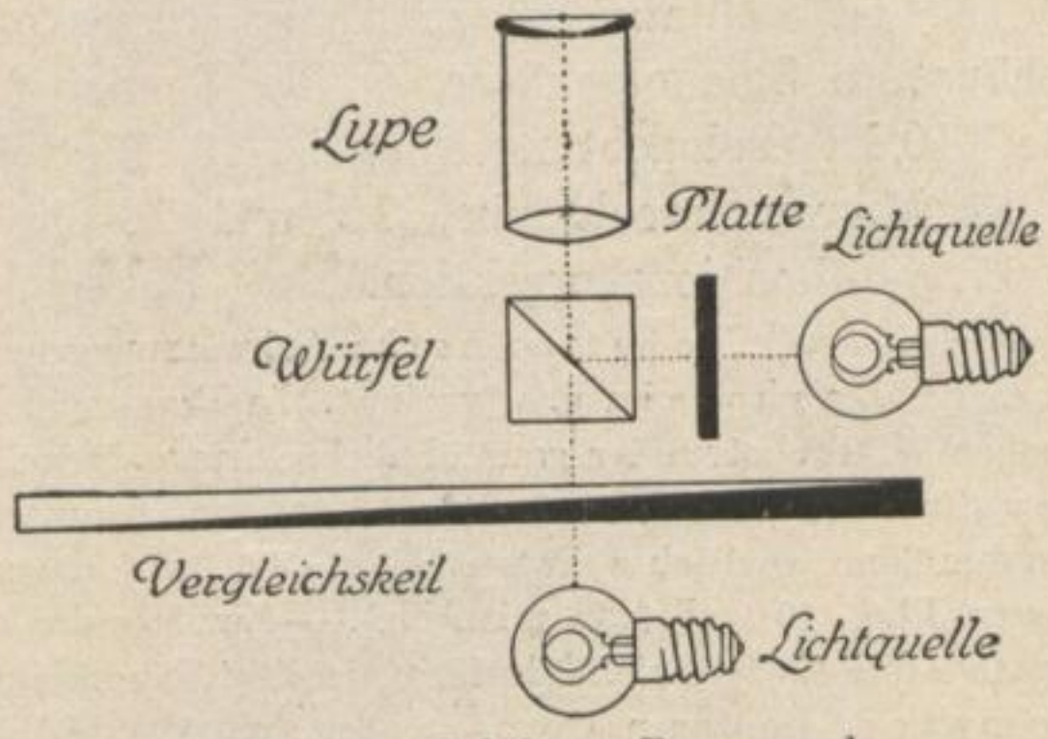


Abb. 158. Goldbergs Densograph.

E. Stenger und G. v. Kujawa befürworten für technische Zwecke den Goldbergschen Densographen, halten aber mit Recht auf Grund vergleichender Messungen für ganz genaue Untersuchungen doch den Martensschen Apparat (s. S. 463) für unentbehrlich, da dieser nur eine einzige Lichtquelle benötigt und auch die Anwendung des Polarisations-Prismas mit seiner gesetzmäßigen Lichtschwächung im Gegensatz zu dem Graukeil des Goldbergschen Densographen einen Vorzug bedeutet. (Phot. Indust. 1924. S. 53.)

Beim Goldbergschen Densographen lenkt eine Spiegelanordnung den Weg der in den Apparat einfallenden Lichtstrahlen so, daß in dem Sehfelde einer Lupe ein kleines Stück des Keiles dicht neben einem kleinen Stück der zu prüfenden Plattstelle zu sehen ist (Abb. 158 und 159).

Man verschiebt nun den Keil so lange, bis die beiden Felder vollkommen gleich in ihrer Dunkelheit sind und die Trennungslinie zwischen den beiden Feldern ganz verschwindet. Dann entspricht die Lichtdurchlässigkeit der Platte derjenigen der betreffenden Stelle des Keiles. Nachdem die Schwärzung der einen Stelle der Platte auf diese Weise ermittelt ist, wird die Platte um ein kleines Stück verschoben. Hat sich die Schwärzung nicht geändert, so bleiben die beiden Felder im Gesichtsfeld der Lupe gleich gefärbt. Ist die Schwärzung größer oder kleiner geworden, so sind auch die beiden Felder verschieden. Man muß nun den Keil so verschieben, daß die Felder wieder gleich in der Färbung werden. Jetzt wird der Stand des Keiles an der Teilung abgelesen, notiert und die Messung in der

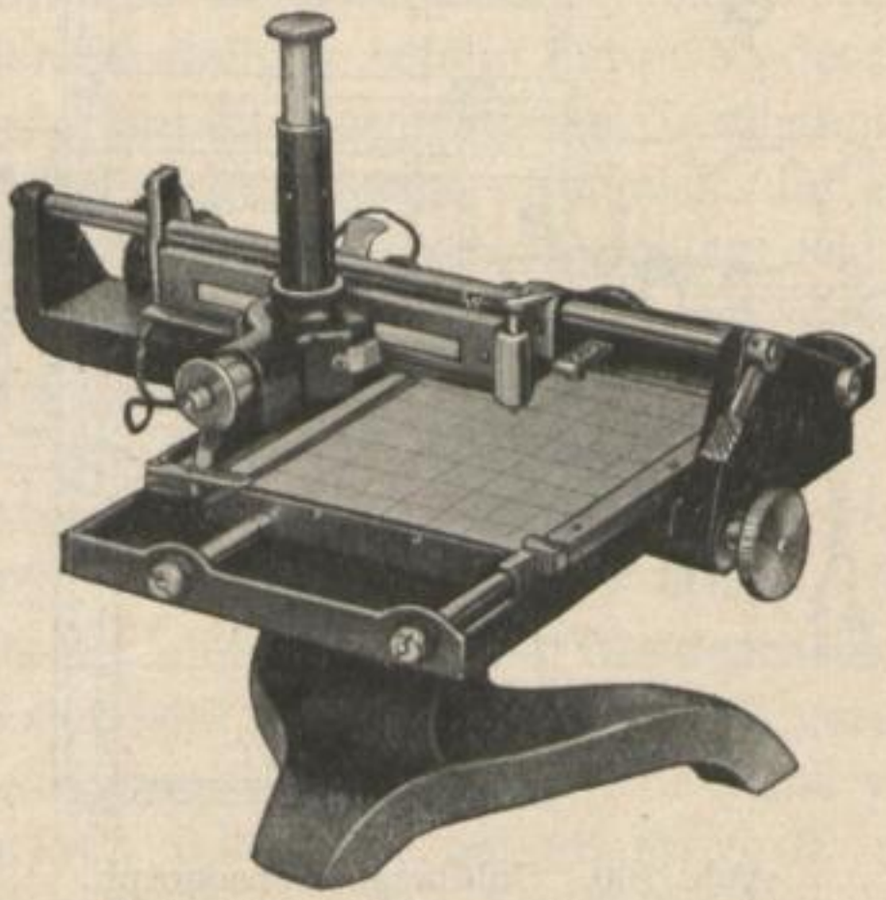


Abb. 159. Goldbergs Densograph.

beschriebenen Weise so lange fortgesetzt, bis die ganze Platte durchgemessen ist. Es wird aber ohne weiteres einleuchten, daß ein gutes Stück Arbeit dadurch gespart werden würde, wenn das Ablesen und spätere Umrechnen der Zahlen umgangen werden könnte. Dies läßt sich auf die einfache Weise erzielen, daß mit dem Keil ein kleiner Tisch verbunden wird, auf dem ein Papierblatt aufgelegt werden kann. Wird nun an der zu prüfenden Platte ein Markierstift befestigt, der auf dem Papier beim Niederdrücken einen Punkt erzeugen kann, so werden die Ergebnisse der Messungen ohne weiteres registriert, ohne daß ein Ablesen nötig wäre. Verschiebt man den Keil zum Ausgleichen der Felder (wie beschrieben), so verschiebt sich gleichzeitig auch das Papier. Ist der Keil eingestellt, so drückt man auf

den Stift und registriert die Stellung des Keiles. Nun verschiebt man die Platte. Dabei verschiebt sich auch wieder der Stift. Erfolgt nun eine zweite Einstellung des Keiles, so wird wieder registriert, wobei aber der neue durch den Stift erzeugte Punkt niemals mit dem ersten Punkt zusammenfallen kann, da die Platte mit dem Markierstift inzwischen verschoben wurde. Ist die Schwärzung der zu prüfenden Platte an beiden Stellen gleich, so liegen die beiden Punkte auf einer wagerechten Linie. Ist die Platte an einigen Stellen (bis 20, je nach der Art des Versuches) durchgemessen, so kann man das Papier herausnehmen und die einzelnen Punkte mit einer Linie, der Schwärzungskurve der Platte bzw. des Papiers verbinden.

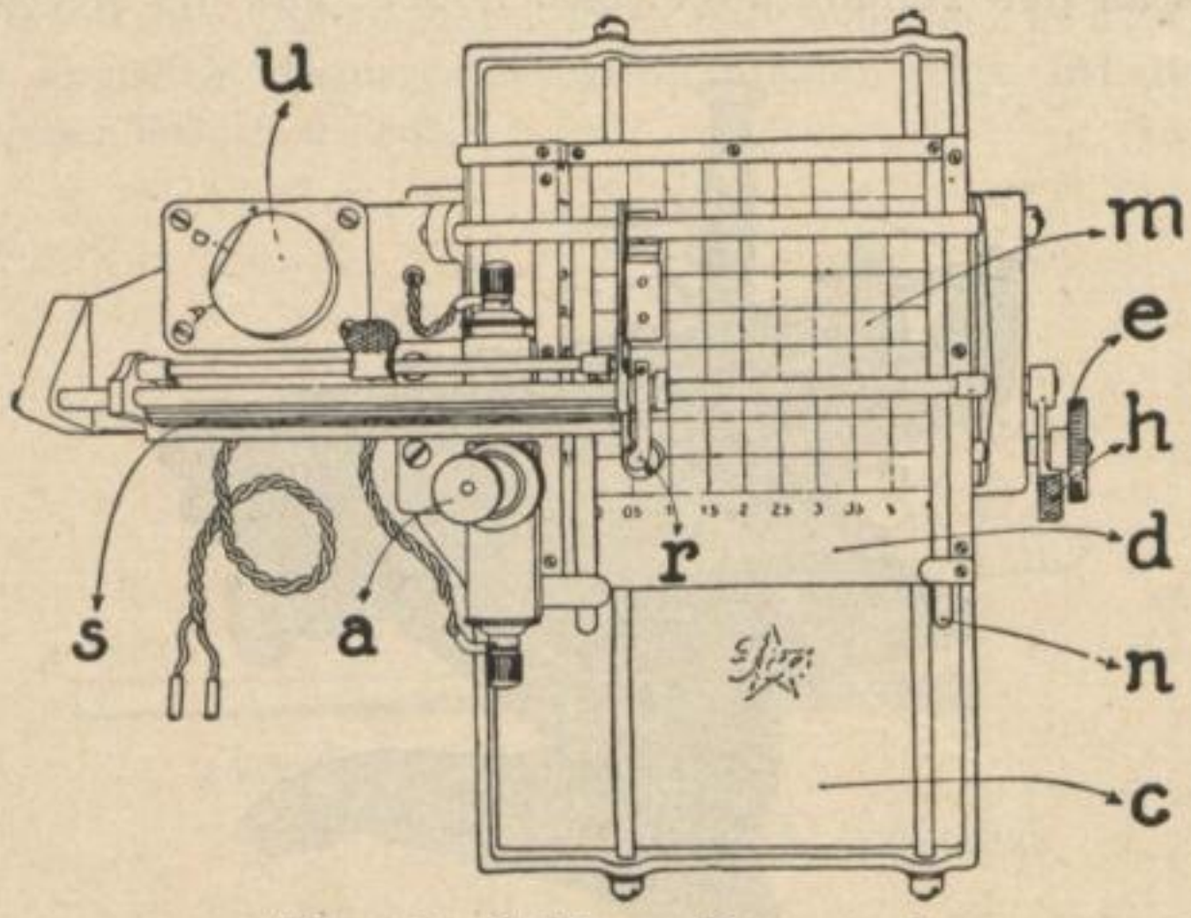


Abb. 160. Goldbergs Densograph.

Der Apparat ist in den Abb. 159 und 160 veranschaulicht. Auf einem kippbaren Fuß ruht die Plattform *c*, auf der ein Schlitten *d* hin- und hergeschoben werden kann. Auf dem Schlitten, der die ganze Breite der Plattform einnimmt, befindet sich einerseits ein Vergleichskeil, anderseits die Schreibfläche *m*, auf der ein Papierblatt mit aufgedrucktem Koordinatennetz mit Hilfe der Flachfedern *n* aufgespannt wird. Rechtwinklig zur Bewegungsrichtung des Schlittens *d* ist ein zweiter Schlitten *s* angebracht, der den auszumessenden Streifen der photographischen Platte oder des Papiers trägt. Der Schlitten *s* kann einfach mit der Hand verschoben werden. Der große Schlitten wird dagegen durch den Knopf *e*, der mit der Zahnstange in Verbindung steht, fein eingestellt. Im Kreuzungspunkt des Schlittens m mit dem Vergleichskeil ist eine photometrische Ver-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

gleichsvorrichtung angebracht, deren Felder durch die Lupe *a* beobachtet werden können. Der Strahlungsgang wird in der Abb. 158 veranschaulicht. Wird eine Stelle der Platte durch die Lupe *a* anvisiert, so kann man durch Verstellen des Keiles leicht beide Felder auf gleiche Helligkeit bringen. Da mit dem Verstellen des Keiles auch die Schreibfläche sich mit bewegt, so entsteht durch Niederdrücken des Markierstiftes *r* durch den Hebel an der Stelle des Koordinatennetzes, die einer bestimmten Dichte (Schwärzung) des Keiles entspricht, ein Punkt. Wird nun der Schlitten *a* ein Stück weiter verstellt, so bewegt sich dabei auch der Markierstift an eine andere Stelle. Hat die jetzt durch die Lupe sichtbare Stelle der Platte eine andere Schwärzung als die vorher gemessene, so muß der Keil (und mit ihm die Schreibfläche) entsprechend nachgestellt werden. Nach der Einstellung erfolgt durch Niederdrücken des Markierstiftes *r* wiederum die automatische Festlegung des betreffenden Punktes auf der Schreibfläche. Nachdem die erforderliche Anzahl von Punkten auf dieselbe Weise festgelegt ist, wird das Papier aus dem Apparat herausgenommen und durch die Punkte mit der Hand eine Kurve gezogen. Diese Kurve ist die gesuchte Schwärzungskurve der Platte bzw. des Papiers (Abb. 161).

Zur Beleuchtung dienen zwei kleine Lampen, wie sie in Taschenlampen gebräuchlich sind (3,5 Volt, 0,3 Amp.). Sie sind parallel zueinander geschaltet und können von Taschenbatterien, zwei Akkumulatorenzellen oder von der Zimmerleitung aus gespeist werden. Im letzteren Falle wird eine Glühlampe als Widerstand vorgeschaltet, die der Stromstärke von 0,6 Amp. entspricht, z. B. eine 50 Kerzenlampe bei 110 Volt Spannung. Die beiden Lampen sind in verschiebbare Hülsen gefaßt, so daß die Beleuchtung der Meßfläche in gewissen Grenzen verändert werden kann, um die Nullpunktstellung zu erhalten.

Zur Prüfung von Papieren wird eine Aufsichtsbeleuchtung unter 45 Grad Einfallswinkel von zwei Seiten verwendet. Zu diesem Zwecke ist eine dritte Glühlampe vorgesehen, die unter Zuhilfenahme von zwei kleinen Spiegeln eine doppelseitige Beleuchtung der Meßfläche gestattet. Die beiden Beleuchtungsarten (Durchsicht bzw. Aufsicht) können mit Hilfe eines Umschalters umgewechselt werden.

Die zu prüfenden Platten bzw. Papiere (Format 2×12 cm) werden hinter einem Keil in einer kleinen Kassette belichtet. 2 cm Keillänge entsprechen einem Belichtungsintervall von 1:10. Da die Meß-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

länge 9 cm beträgt, so kann man mit Hilfe eines Densographen ein Belichtungsintervall von 1:30 000 überbrücken (bis zur Schwärzung 4,5).

Infolge dieser langen Skala erhält man auch bei flau arbeitenden Platten ein vollkommen ausreichendes Stück der Kurve auf einer Platte, bzw. mit einem Versuch.

Als Belichtungsquelle wird bei Plattenprüfung die Scheinersche Benzinkerze im Abstand von einem Meter von der Kassette verwendet. Belichtungszeit beträgt im Normalfall eine Minute. Bei Prüfung von Papieren wird eine mit konstantem Strom gespeiste Glühlampe gebraucht, deren Lichtstärke der Empfindlichkeit der zu prüfenden Papiersorte angepaßt ist. Bei Bromsilberpapieren soll

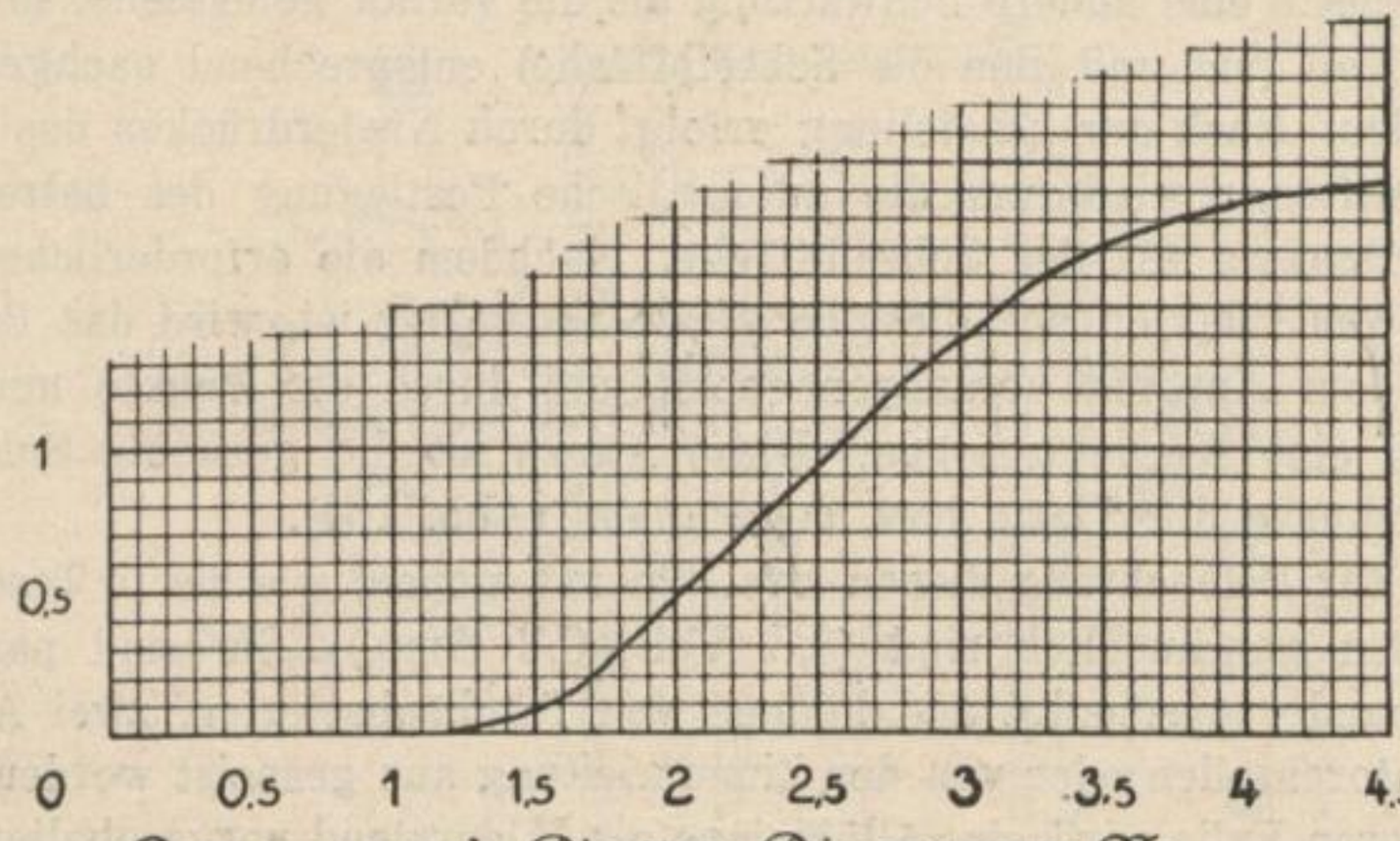


Abb. 161.

diese Beleuchtung etwa 1 Lux betragen, bei Gaslichtpapieren 10 bis 100 Lux.

Soweit die Platten und insbesondere die Papiere eine Färbung besitzen, also nicht neutral grau sind, so macht der Vergleich des Keils mit dem zu prüfenden Papier oder der Platte bei jeder Art von Schwärzungsmessung, also auch beim Densographen, einige Schwierigkeiten. In diesem Falle wird die Messung sehr stark erleichtert durch Aufsetzen eines Gelbfilters auf das Okular.

Es wird zunächst die Aufnahme der Lichtverteilung und auf einem benachbarten Plattenstück die Kopie eines Keiles hergestellt. Der Meßkeil wird vom Diagrammschlitten des Densographen entfernt und durch die Keilkopie ersetzt. In den Schlitten s, wo in sonstigen Fällen die Keilkopie befestigt wird, wird jetzt die Photographie der

Lichtverteilung eingesetzt und diese gegen die Keilkopie gemessen. Die entstehende Kurve gibt unter Ausschaltung der charakteristischen Kurve direkt die Helligkeitskurve der Lichtverteilung. (Abb. 161.)

Durch den Einbau einer Registriervorrichtung werden alle diejenigen Fehler ausgeschlossen, die auf einer falschen (absichtlichen oder unabsichtlichen) Ablesung der Teilung beruhen, ferner alle Fehler, die so oft bei der Umrechnung der abgelesenen Zahlen, beim Niederschreiben derselben und beim Aufzeichnen der Kurven vorkommen. Man erhält sofort bei der Messung ein Diagramm, das in

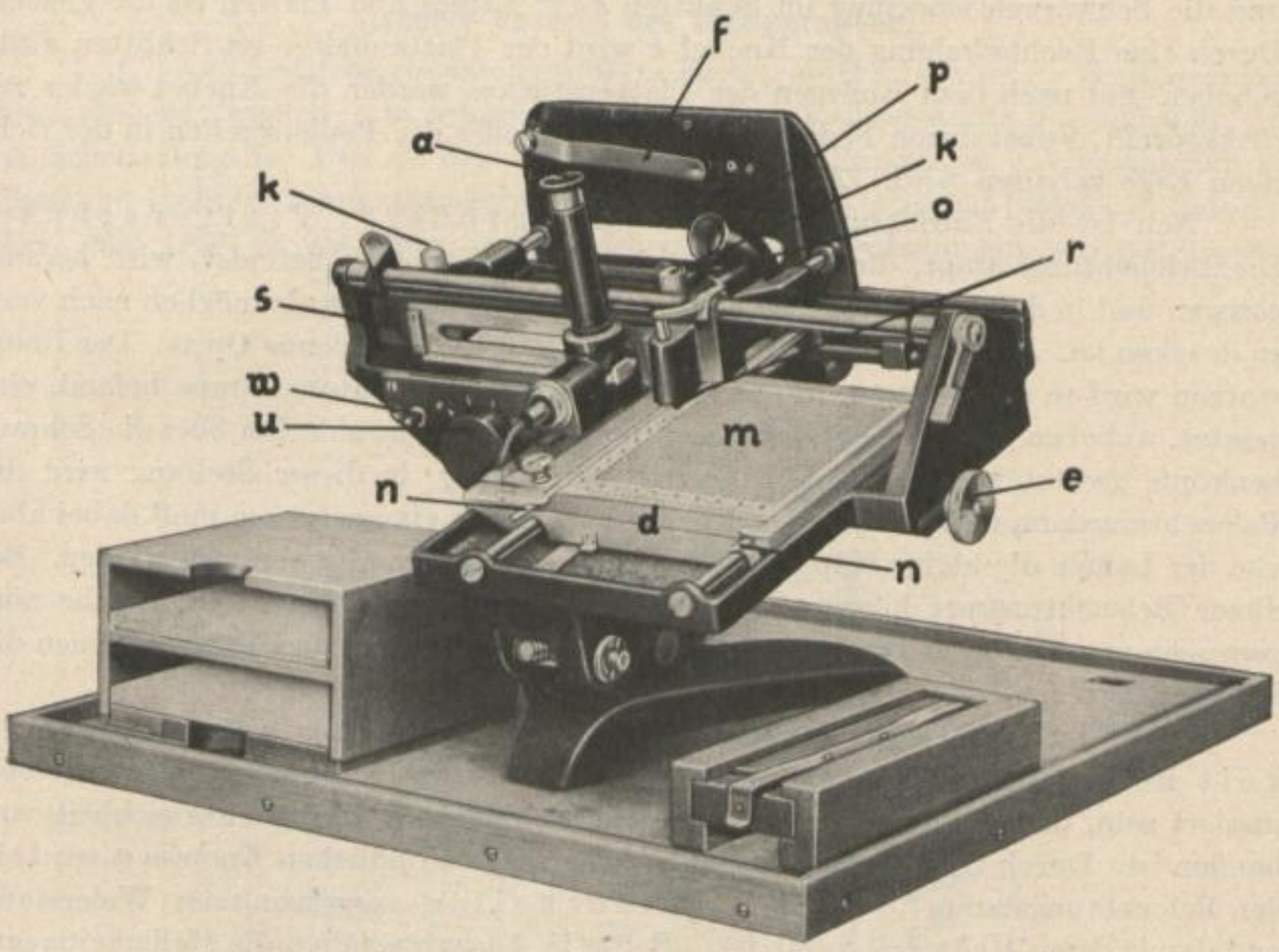


Abb. 162. Ansatz zum Ausmessen größerer Platten.

das Fabriks- oder Laboratoriumsjournal eingeklebt werden oder auch direkt für eine Publikation photographisch reproduziert werden kann. Der so ermüdende fortwährende Wechsel zwischen Einstellung und Ablesung fällt weg und das Auge des Beobachters wird nicht durch das häufige Anzünden der Lampe zum Ablesen einer Teilung geblendet.

Die Zeitdauer der Herstellung einer charakteristischen Kurve, die bei der gewöhnlichen Methode auch nach langer Übung etwa $^1/_2$ bis 1 Stunde beträgt, wird bei Verwendung des Densographen auch bei ganz ungeübten Personen (ungelernte Fabrikmädchen) auf etwa

1 bis 2 Minuten reduziert. Dadurch werden die am meisten gefürchteten Nachteile der wissenschaftlich-photographischen Methoden, die deren Einführung in die Fabrikpraxis entgegenstanden, und zwar der Zeitverlust und die Unkosten, gänzlich beseitigt. (Auf S. 45 u. 50 dieses Bandes haben wir verschiedene derartig hergestellte Schwärzungskurven mitgeteilt.)

Zusatzbeschreibung für das neue Densographenmodell mit Ansatz zum Ausmessen größerer Platten.

Im Prinzip ist der Densograph auch in seiner neuen Form derselbe geblieben und die Schwärzungsmessung im Schlitten *s* für Papier und Platten ist die gleiche. Durch eine Rechtsdrehung der Knebel *k* wird der Plattenhalter im Schlitten *s* abgehoben und nach dem Einlegen des Plattenstückes werden die Knebel wieder zurückgedreht, wobei durch Federdruck die Platte oder der Papierstreifen in der richtigen Lage gehalten wird. Abb. 162.

Neu ist die Einrichtung zum Ausmessen größerer Plattenstücke: Die Beleuchtungslampe, die sich dicht hinter dem Schlitten befindet, wird herausgezogen und in den hinteren Bügel eingesetzt, wobei sie soweit als möglich nach vorn zu drücken ist. Das beigefügte Rohrstück *o* enthält die abbildende Optik. Der Rohrstutzen wird in die Öffnung, in der sich vorher die Beleuchtungslampe befand, eingesetzt, wobei zu beachten ist, daß die Öffnungen des Auflagebleches über die Schraubenköpfe gesetzt werden. Zur Papiermessung in dieser Stellung wird die Beleuchtungslampe in das schräge Rohransatzstück *p* eingesetzt; es muß dabei aber von der Lampe die kleine Kappe mit der Milchglasscheibe abgenommen werden. Bei dieser Beleuchtungsart können allerdings nur Papiere mit matter Oberfläche ausgemessen werden. Zum Festhalten der zu messenden Platten und Papiere dienen die Klemmfedern *f*.

Die Einstellung der beiden Meßfelder auf gleiche Helligkeit ist ebenfalls anders als im bisherigen Modell. Die Lichtquellen müssen so einjustiert sein, daß beim oberen Anschlag des Schlittens *d* Helligkeitsgleichheit vorhanden ist. Durch Drehen des neben dem Schalter *u* befindlichen Knopfes *w* wird ein der Beleuchtungslampe des Vergleichskeiles vorgeschalteter Widerstand und damit deren Helligkeit verändert. Sollte in Ausnahmefällen die Helligkeitsregulierung durch diesen Widerstand nicht ausreichen oder zu grob sein, so kann man eine weitere Regulierung durch Herauf- oder Herunterschieben der Beleuchtungslampe des Vergleichskeiles erreichen. Die das Meßobjekt beleuchtende Lampe muß aber stets bis zum Anschlag vorgeschoben sein und darf nicht zur Regulierung benutzt werden, da sonst falsche Dichtewerte erhalten werden.

Ferner ist darauf zu achten, daß der Vergleichskeil stets an seinem hellen Ende und das Koordinatenpapier an der oberen und an der rechten Kante anliegt.

Es ist zu empfehlen, vergleichende Versuchsserien entweder in der vorderen oder in der hinteren Meßstellung durchzuführen. Eine Einstellung auf Helligkeitsgleichheit ist bei jedesmaligem Wechsel der Meßstellung — ob vorn am Schlitten oder hinten an der größeren Platte — vorzunehmen.

Spektro-Densograph nach Goldberg. Der Spektro-Densograph wurde von Goldberg zusammen mit André Callier bereits im Jahre 1914 in Gent konstruiert. Er ist ein Apparat, der gestattet, die optische Dichte eines

lichtdurchlässigen Mittels in den verschiedenen Spektralbereichen direkt aufzuzeichnen. Er stellt eine Erweiterung des einfachen Densographen dar, der nur die Dichte für das ganze sichtbare Spektralgebiet (weißes Licht) zu bestimmen gestattet. Man kann auch auf gefärbten Papieren und Stoffen im reflektierten Licht Farbenmessungen ausführen. Er dient auch zur Untersuchung von Lichtfiltern und deren Absorptionskurven. Dieser Apparat wurde von Goldberg verbessert und von Zeiß-Ikon-A.-G. Dresden ausgeführt. Es sind der Monochromator und Photometer in einem Apparat vereinigt und ständig gegeneinander ausgerichtet und die Bestimmung der Spektralkurve wird während der Messung durch eine Registriervorrichtung durchgeführt. (Helmuth-Schering Photo-Ind. 1929, S. 454.)

Andere Formen des Densographen.

L. Lobel konstruierte eine geänderte Form von Goldbergs Densographen mit zweierlei starken und schwachen Graukeilen (Keilkonstante 0,5 und 0,2), um die Schwärzung der Periode der Unter- und Normal-Exposition gut bestimmen zu können; er stellte den Apparat (Abb. 163) im April 1926 in Paris aus (Scienc. et Industr. phot., Mai 1926, S. 95) unter der Bezeichnung „Sensitophotometre enregistrateur".

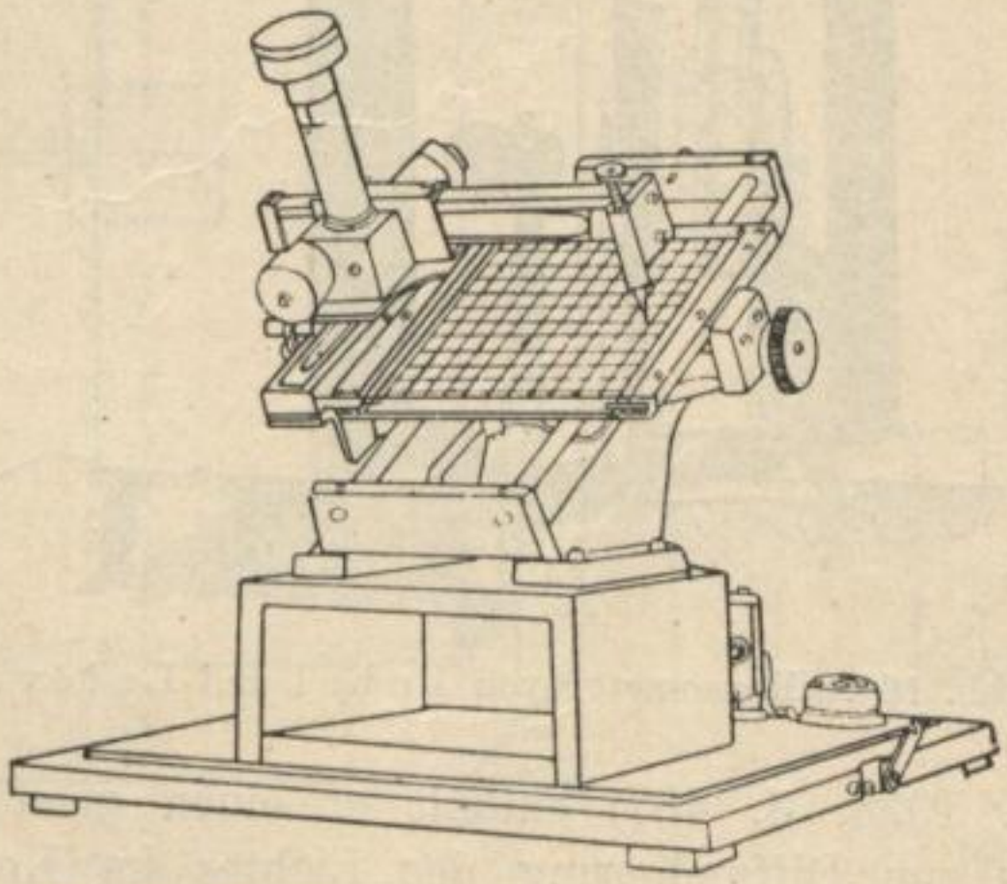


Abb. 163. Lobels registrierendes Densometer.

Die französischen Etablissements „Filmographe" in Montrouge (Seine) erzeugen einen Dichtemesser für kinematographische Zwecke unter dem Namen „Densitomètre Filmograph", wozu L. Lobel und J. Lefèvre eine Broschüre mit erläuternden Tabellen schrieben [1]). Auf einer Grundplatte (Abb. 164) stehen rechtwinkelig zueinander zwei Lampengehäuse mit Halbwattlampen zu 25—50 Watt. Sie besitzen auf der gegenseitig zugekehrten Seite eine 2 mm große

1) Referat: Filmtechnik 1927, S. 233; Kinotechnik 1927, S. 152; aus Revue franç. Phot. et Cinema. März 1927.

Öffnung für die austretenden Lichtstrahlenbündel, welche von einer zwischen ihnen auf der gleichen Grundplatte aufgesetzten Scheibe aufgefangen werden. Zur Betrachtung der letzteren ist eine besondere Lupe vorgesehen. Vor der Öffnung der einen Lampe wird das zu prüfende Negativ festgeklemmt. Vor der Öffnung der anderen ist ein Graukeil verschiebbar angebracht, durch den das Licht ebenfalls auf die Scheibe fällt; eine Skala am Graukeil gibt die Dichten an. Zur Messung geringer Dichten wird vor die Lupe ein grünes Glas eingeschaltet. Rezepte und Tabellen geben eine Grundlage für die Praxis (Kopierzeit bei verschiedenen Negativen, Wahl geeigneter Kopierpapiere oder Filme usw.).

Sanger Shephards Dichtemesser (Density Meter) wird in England viel verwendet. In seiner neuen verbesserten Form (Brit.

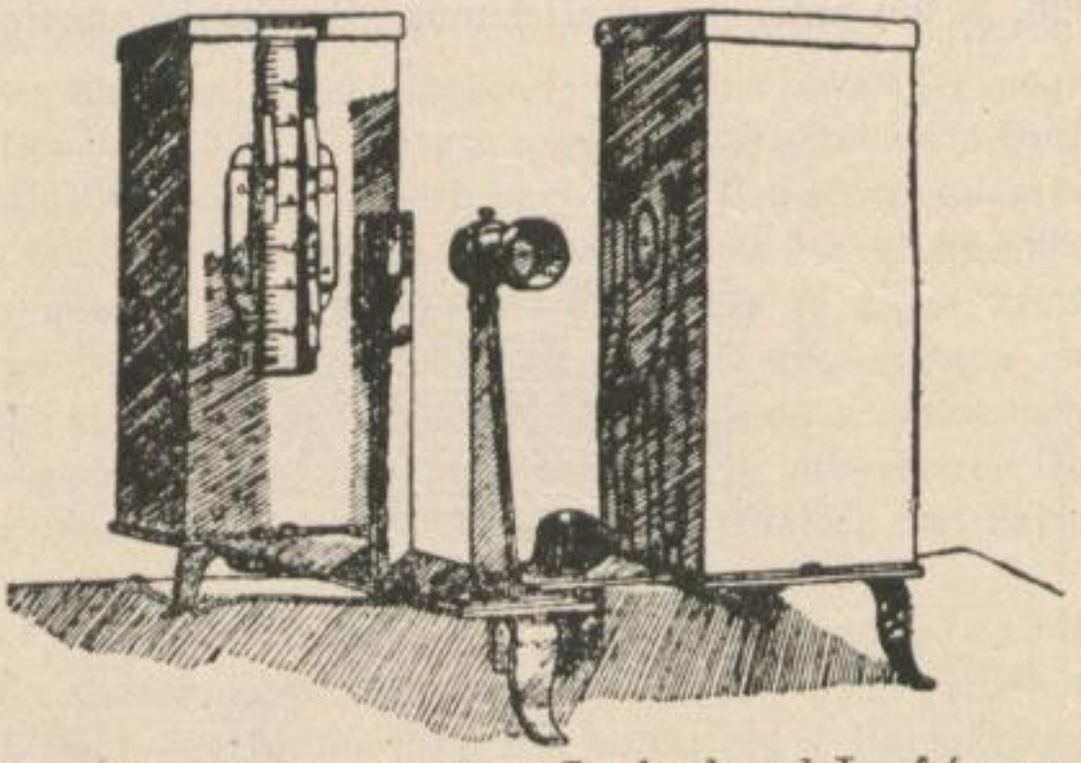


Abb. 164. Densometer von Lobel und Lefévre.

Journ. Phot. 1928, S. 487) enthält er einen geeichten Graukeil, ein Opalglas zur Diffundierung des Lichtes im Kontakt, so daß Kopierdichten gemessen werden. Es können Negativflächen von 2 mm Durchmesser bezüglich Maximal- und Minimaldichte leicht gemessen werden, ebenso die Gradationen. Um die Kopierdichten und -Zeiten an der Hand dieses Instruments berechnen zu können, sind Tabellen beigegeben. Als Lichtquellen dient eine Halbwattlampe oder Magnesiumband. Der Apparat dient auch zur Berechnung der Exposition für Vergrößerungen usw.

Einen Schwärzungsmesser für Kinofilme konstruierten J. G. Capstaff und N. B. Green (Eastman Kodak Abridg. Scientif Publicat. 1924. Bd. VIII. S. 30; Phot. Indust. 1925. S. 724), der insbesondere für die Messung der Schwärzung

der kleinen Bildelemente von Kinofilmen bestimmt ist, aber ebensogut auch für die sensitometrische Untersuchung gewöhnlicher photographischer Negative verwendet werden kann. Da die zu messenden Schwärzungen nie sehr groß sind, so konstruierten sie ein Instrument, das auf dem Lambertschen Entfernungsgesetz beruht. Um die Schwierigkeiten zu vermeiden, welche die Verwendung von Lichtquellen von konstanter Intensität mit sich bringt, wurde ein und dieselbe Lichtquelle sowohl für die Beleuchtung der zu messenden Schwärzung als auch für die des Vergleichsfeldes benützt.

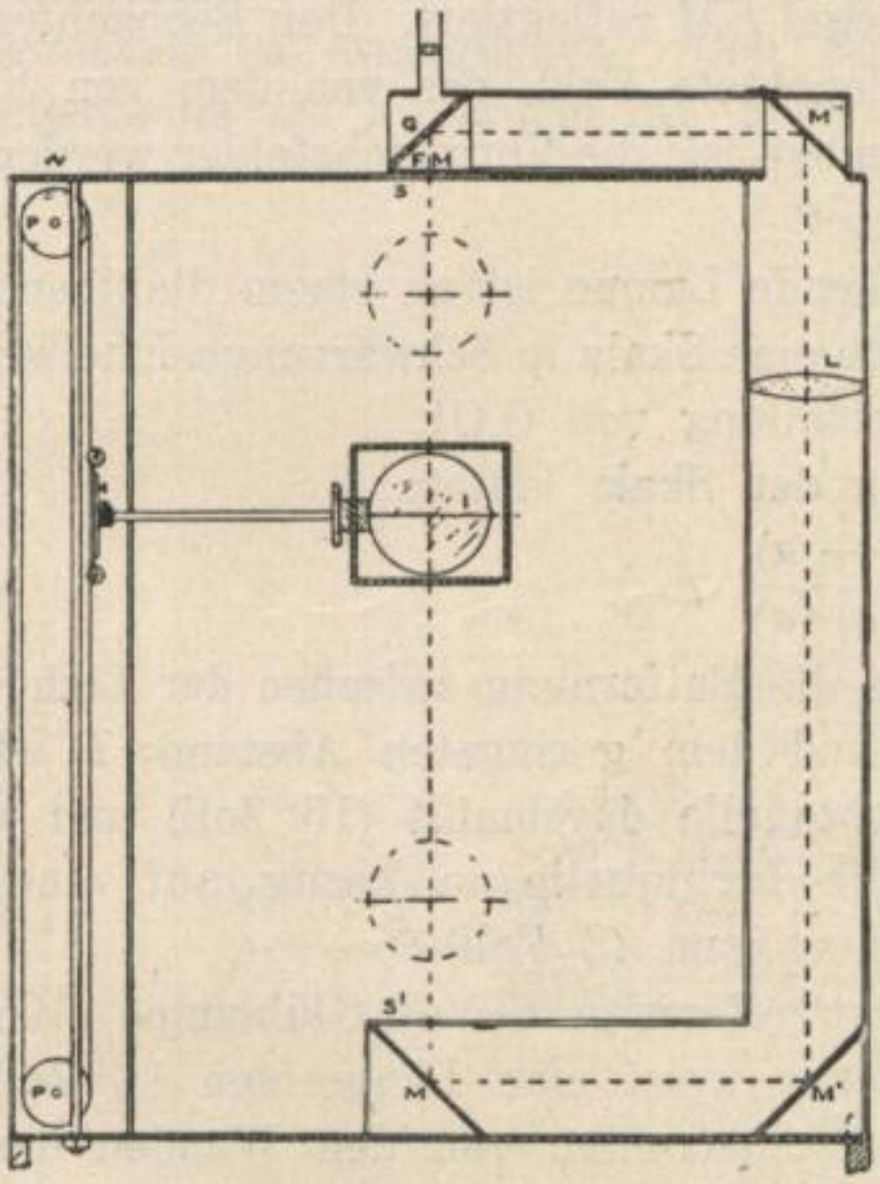


Abb. 165.

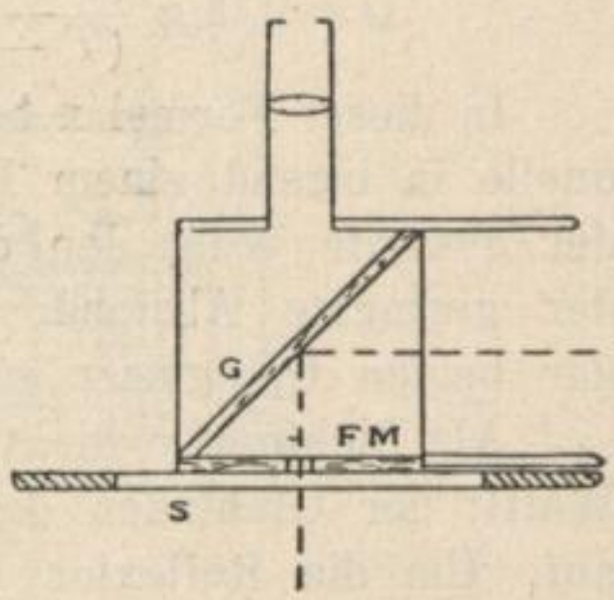


Abb. 166.

Schwärzungsmesser für Kinofilme von J. G. Capstaff u. N. B. Green (Abridg Scient. Publ. from the Research Lab. of the Eastman Kodak Co. 1924, Bd. VIII, S. 30. — „Phot. Ind." 1925, S. 724.

In Abb. 165 ist in J eine bewegliche Lichtquelle geringer Größe; mit S und S' sind zwei Opalgläser bezeichnet. Wird die Lichtquelle von S gegen S' bewegt, so wird nach dem bekannten Entfernungsgesetz die Beleuchtung der Fläche S vermindert und die von S' vergrößert, und zwar ist die Beleuchtung umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der Fläche. Es ist nun nur noch notwendig, das von den beiden Opalgläsern kommende

Licht so zu kombinieren, daß zwei photometrisch vergleichbare Felder entstehen.

Dies wird durch ein System von versilberten Planspiegeln M. M'. M'', durch die Linse L und durch die Betrachtungsvorrichtung H erreicht. Das Prinzip dieser Vorrichtung ist aus Abb. 166 ersichtlich. FM ist ein versilberter Spiegel, dessen versilberte Seite sich mit S in Kontakt befindet. Im Mittelpunkt dieses Spiegels ist der Silberbelag auf einer Fläche von etwa 1 mm Durchmesser entfernt. Über dem Spiegel ist unter einem Winkel von 45 Grad eine Planscheibe angeordnet, die das von S' über das Spiegelsystem kommende Licht gegen den Spiegel FM reflektiert. Der Beobachter sieht also das direkt von S beleuchtete Feld, das von dem von S' beleuchtetem Vergleichsfeld umgeben ist; die Vergleichsfelder werden mit Hilfe eines Okulars betrachtet.

Die auf einem Schlitten ruhende Lampe ist an einem Stahlband befestigt; auf diesem befindet sich eine Skala in Schwärzungseinheiten von 0,0 bis 3,0 mit einer Unterteilung von 0,01.

Die Formel für die Teilung der Skala lautet:

$$D = 2 \log \frac{(x - a)(T - a)}{(T - x - a)(a)}$$

In dieser Formel x bedeutet die Entfernung zwischen der Lichtquelle in irgend einem Punkt und dem geringsten Abstand; T ist der gesamte Weg, den die Lichtquelle durchmißt (15 Zoll) und a der geringste Abstand, den die Lichtquelle in bezug auf eines der beiden Opalgläser einnehmen kann (3 Zoll).

Als Lichtquelle dient eine kugelförmige 6 Volt-Glühlampe (108 Watt); der Glühfaden dieser Birne weist eine Länge von $^1/_4$ Zoll auf. Um die Reflexion dieser Lichtstrahlen von den Wänden des Densitometergehäuses zu verhindern, ist die Lampe in einem zylindrischen Behälter eingeschlossen, dessen Innenwände mattschwarz sind. Zwei Seiten des Behälters sind mit Ausschnitten versehen.

Die Linse L ist dazu bestimmt, das Opalglas S' aus dem Spiegel FM mittels der Spiegel M. M'. M'' abzubilden. Der Spiegel M'' ist mit der Betrachtungsvorrichtung durch einen quadratischen Tubus verbunden; dieser ist in Scharnieren aufgehängt und kann hochgeklappt werden, so daß man die zu messende Schwärzung auf dem Opalglas S befestigen kann. Die Betrachtungsvorrichtung ist in bezug auf den Tubus in senkrechter Richtung verschiebbar. Um den durch die häufige Reflexion entstehenden Unterschied in der Farbe der beiden Vergleichsfelder auszuschalten, ist vor dem Spie-

gel *M''* ein Filter angeordnet. Da sich der obere Teil der Birne mit der Zeit etwas schwärzt, befindet sich hinter dem Schirm *S* ein Graukeil, der die dadurch entstehenden Unterschiede ausgleichen soll.

W. B. Fergusons „Density Comparator" ist im Phot. Jour. 1927, Bd. 67, S. 278, auch Phot. Industr. 1927, S. 702 beschrieben.

Auch beim Fergusonschen Dichtemesser steht ein geeichter Graukeil in Verwendung. Die Konstruktion ist aus Abb. 167 ersichtlich. Das Lampenhaus *A* enthält eine 30 Watt gasgefüllte Osramlampe *B*, deren Fassung in Schienen gleitet, um eine Adjustierung zu ermöglichen. Den Boden des Gehäuses bildet die Mattscheibe *D*, außerdem ist noch Platz zum Unterbringen von

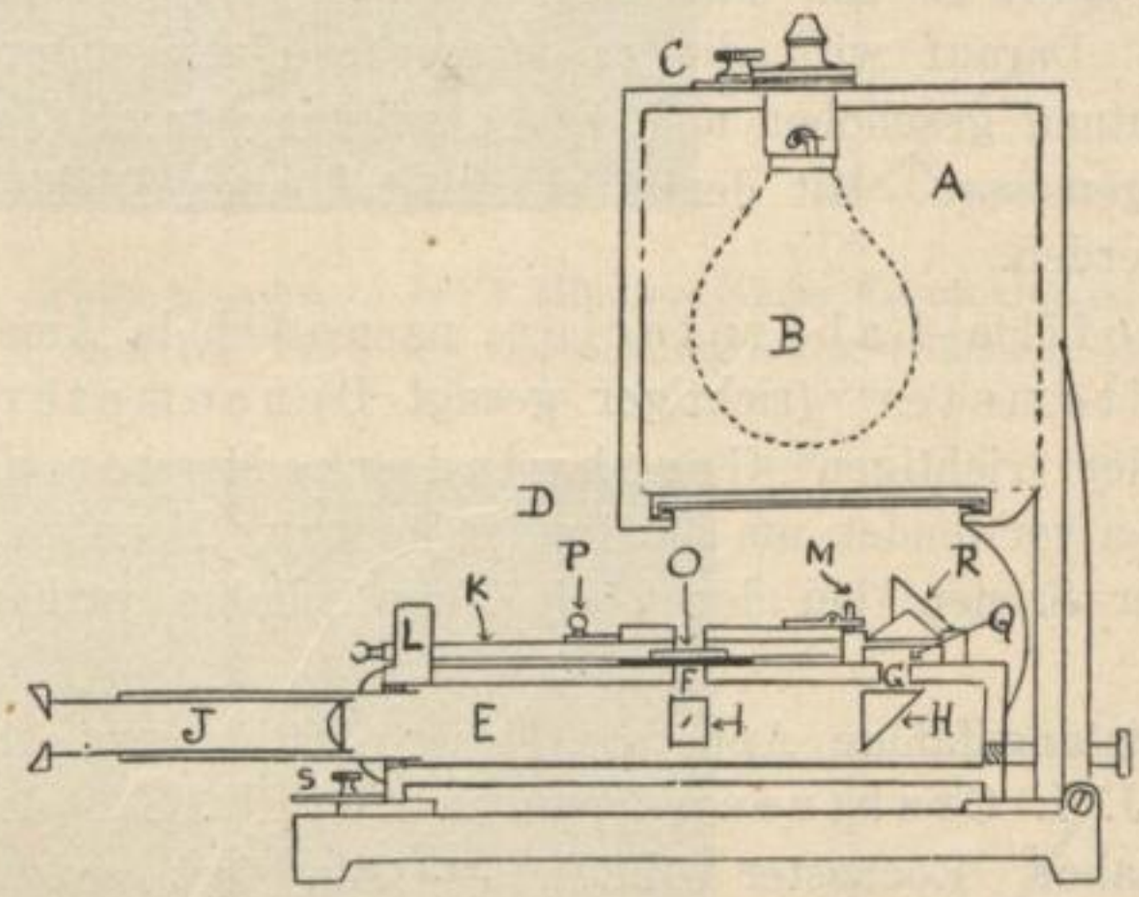


Abb. 167.

Lichtfiltern vorhanden. 5 cm unterhalb des Lampenhauses befindet sich das Photometerrohr *E*, das zur Adjustierung nach vorn und hinten verschoben werden kann. Es enthält bei *F* und *G* zwei kreisförmige Öffnungen; unter *F* befindet sich ein rechtwinkeliges Prisma *H* und unter *E* ein modifizierter Abbe-Würfel *J*, der ein Reflexionszentrum von 2,5 mm Durchmesser besitzt. Diese beiden Vorrichtungen werfen das von den Öffnungen durchgelassene Licht in das Okular *J* und bilden das Photometerfeld. Über der Öffnung *F* befindet sich die Andrückvorrichtung *K*, die mit den Scharnieren *M* befestigt ist. Die beiden Führungen *L* gestatten es, sie hochzuheben, so daß man die zu messende Platte dazwischenschieben kann, unter die Andrückevorrichtung wird ein Opalglas *O* gelegt. Über der An-

drückevorrichtung ist ein Schlitten P angebracht, der eine schwache Zusatzdichte von etwa 0,5 enthält. Diese wird nur dann benutzt, wenn Dichten gemessen werden, die kleiner als diejenigen sind, die auf dem Keil abgelesen werden können. Über der Öffnung G befindet sich eine Vorrichtung (Q) zur Aufnahme des Keilschlittens, über dem Mittelpunkt derselben befindet sich ein Opalglas, an der einen Seite ein in Schienen gleitender Rahmen mit einer zweiten Zusatzdichte von ungefähr 0,1 und auf der anderen Seite ein Reflexionsprisma R, in dem die Teilung des Keiles deutlich abgelesen werden kann. Will man mit dem Instrument eine Dichtemessung vornehmen, so zieht man den Keil heraus und entfernt die beiden Zusatzdichten. Nachdem man die Lampe an das Stromnetz angeschlossen hat, stellt man den Apparat so ein, daß das Photometerfeld gleichmäßig beleuchtet ist. Darauf wird die zu messende Platte unter die Andrückvorrichtung geschoben und die Schwärzung durch Verschieben des Keiles gemessen. Mit dem Instrument können Dichten bis 2,5 gemessen werden.

In Kinofilm-Laboratorien, namentlich in Amerika werden „Sensitometer“ (richtiger gesagt Densometer) zur Bestimmung der richtigen Geschwindigkeit der Kopiermaschinen verwendet, um die Kopierdauer der Negativaufnahmen verschiedener Szenen (bei denen die Negativdichte variiert), anzupassen.

Sehr leistungsfähige Apparate dieser Art konstruierten C. E. Ives und J. I. Crabtree (Communication Nr. 324 des Kodak-Research Labor. Rochester 1927). — Ein fest aufzustellendes „Densitometer“ für Kinofilme konstruierten J. I. Capstaff und R. A. Purdy („A compact motion picture Densitometer“, Communication Nr. 331 des Kodak-Research Labor. 1927; auch „Die Kinotechnik“, 1928, S. 267; Science et Industr. phot., 1928, Nr. 4). Man kann Dichten am Negativ zwischen 0 und 3,0 messen und kleine Bildflächen von $^1/_2$ mm Durchmesser erfassen. — Hierbei wird ein geeichter kreisförmiger Graukeil benutzt.

IX. Bestimmung der Schwärzungskurve und des Entwicklungs-Faktors „Gamma“ ohne Meßapparate.

Wenn man nur den Verlauf der Schwärzungskurve und das Gamma finden will, so führt bei Benutzung zweier gekreuzter Graukeile (oder auch eines gestaffelten Sensitometers) ein einfacher kon-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

struktiver Weg zum Ziele, der von Fritz Weigert, und unabhängig von Luther im Jahre 1910 angegeben wurde[1]).

Man benötigt einen Graukeil (z. B. Eder-Hechts Graukeil-Sensitometer, Keilkonstante 0,40, ohne Deckskala) und belichtet die zu

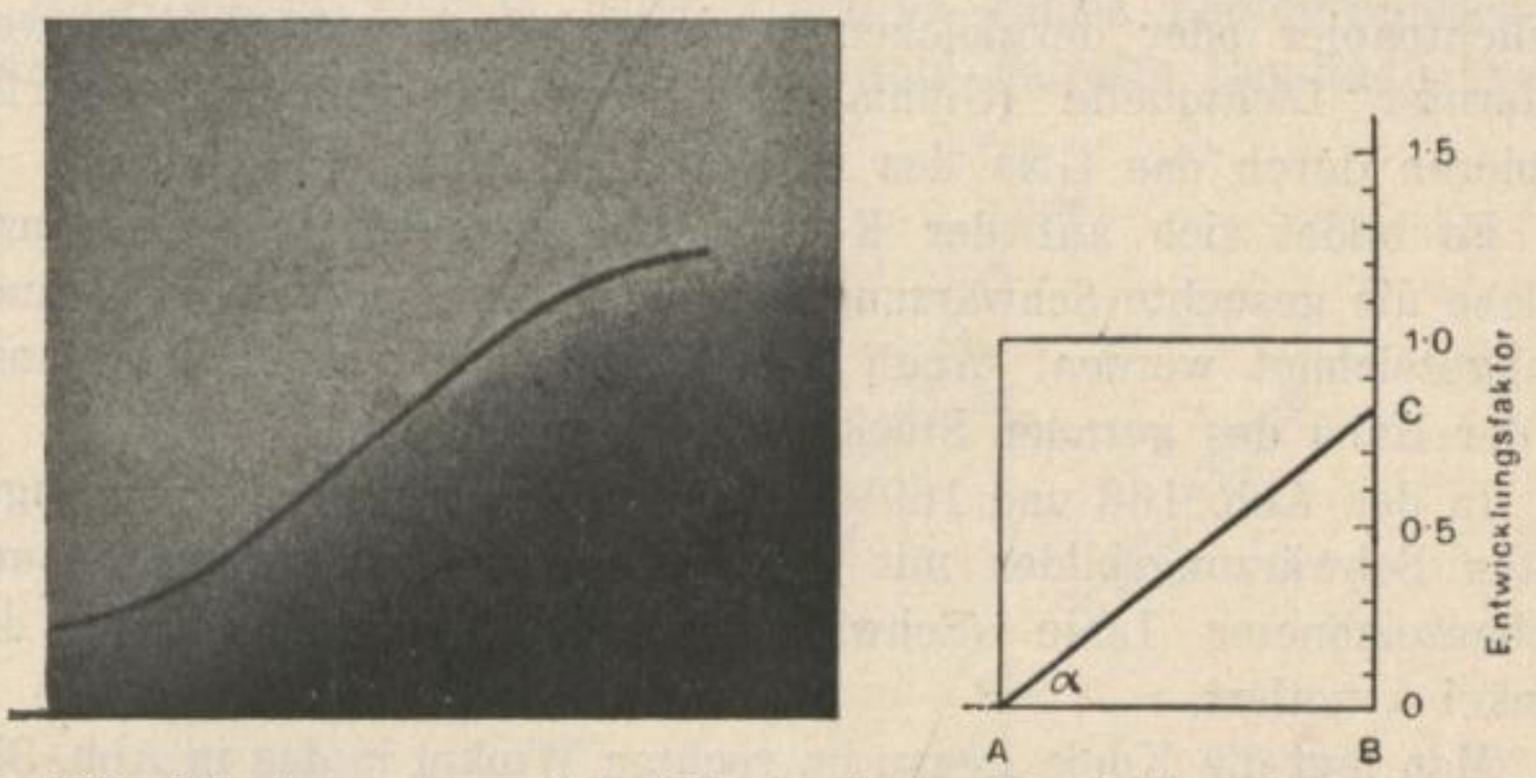


Abb. 168. Schwärzungskurve bei 4 Minuten langer Entwicklungsdauer. Hurter und Driffields Entwicklungsfaktor (Gamma) 0,8.

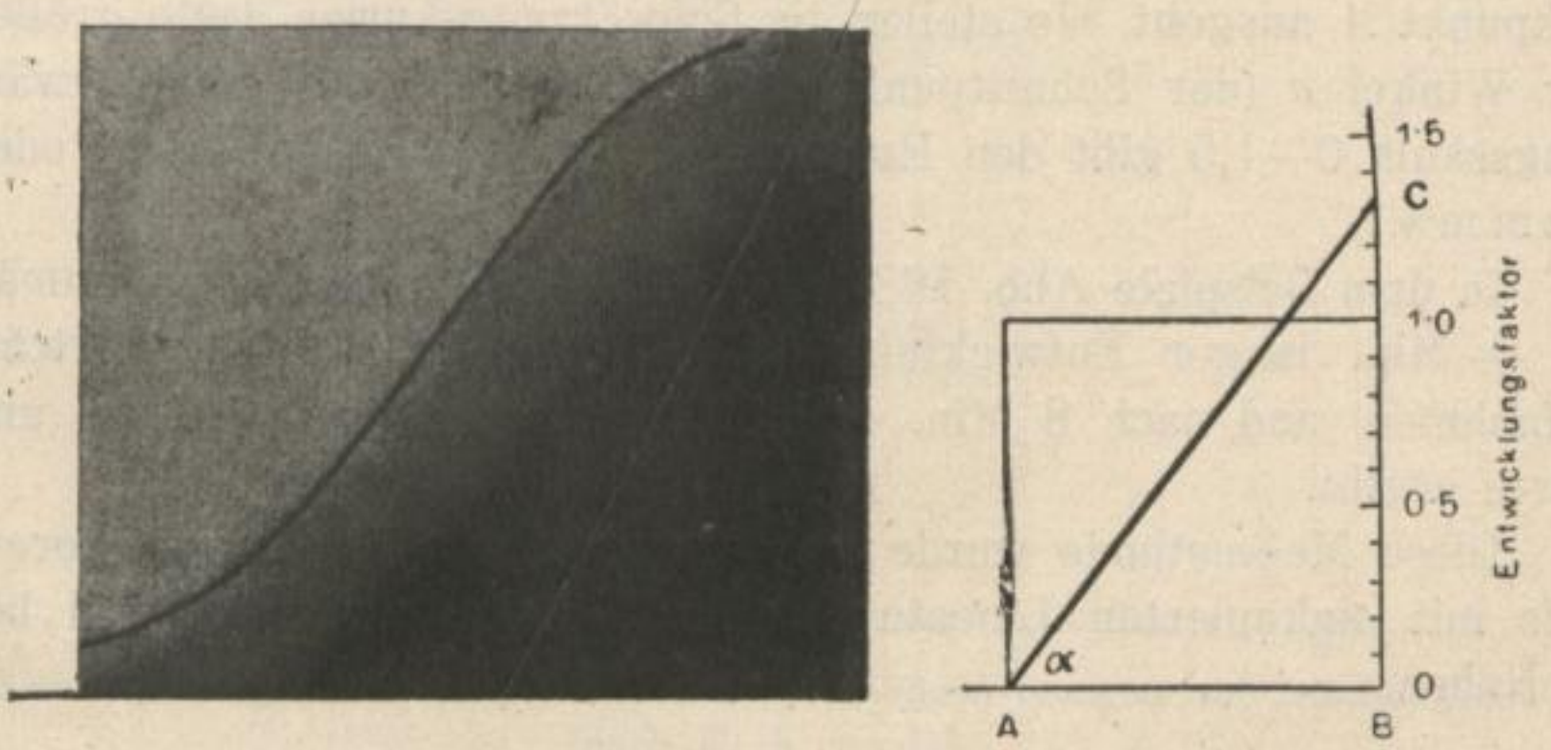


Abb. 169. Schwärzungskurve bei 8 Minuten langer Entwicklungsdauer. Hurter und Driffields Entwicklungsfaktor (Gamma) 1,23.

1) F. Weigert, Eders Jahrbuch 1911 u. 1912, S. 463; Deutsche Phys. Gesellschaft, Bd. 12, 1910. — Ferner Goldberg, Luther und Weigert, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1911, S. 323. — Eder, Ein neues Graukeilsensitometer 1920 (W. Knapp). — Diese Methode wurde mehrfach mit und ohne Einlegung von Lineaturen verwendet. Sie ist auch der Ausgangspunkt zur Herstellung und Anwendung der Goldbergschen „Detailplatte". — Man kann auch zwei gleichartige Graukeile übereinanderlegen und durch beide hindurch kopieren. — Siehe Eder, „Ein neuer Graukeilsensitometer" (Halle 1922).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

prüfende Platte mit einer Hefner-Kerze im Abstande von 1 m oder mit 2 mg Magnesiumband im Abstande von 3 m; jedoch übt eine längere Belichtung (2—3fach) keinen Einfluß auf den Anstieg der Kurve aus. Das entwickelte und fixierte Negativ wird mit demselben in gekreuzter Lage darüber gelegten Graukeil auf ein Blatt Gaslichtpapier oder dergleichen kopiert, jedoch mit ziemlich weit entfernter Lichtquelle (Glühlampen), um ein genügend scharfes Kopieren durch das Glas des Negativs hindurch zu erzielen.

Es bildet sich auf der Kopie eine gebogene Schattengrenze, welche die gesuchte Schwärzungskurve darstellt; sie kann am Rande nachgezeichnet werden. Auch den Wert des Gamma kann man an der Hand des geraden Stückes der Kurve finden.

In den Abb. 168 und 169 sind die so erhaltenen einseitig abgetönten Schwärzungsbilder mit der gebogenen Schattengrenze und nachgezeichneter Linie (Schwärzungskurve) abgebildet und der Winkel x notiert.

Man legt die Kopie genau im rechten Winkel in das in Abb. 351 angegebene Netz und zieht parallel dem geraden Stück der Schwärzungskurve eine Linie *AC* in das kleine Quadrat, wobei man vom Eckpunkt *A* ausgeht. Je steiler die Schwärzungskurve, desto größer der Winkel *a* (der Schnittpunkt dieser Linie *AC* mit der Schwärzungsskala 0—1,5 gibt den Hurterschen „Entwicklungsfaktor“) oder Gamma.

In dem Beispiele Abb. 168 ist der Entwicklungsfaktor „Gamma“ bei 4 Min. langer Entwicklung = 0,8 (also günstig für Porträtaufnahmen) und nach 8 Min. = 1,32, was schon große Dichte und Härte ergibt.

Diese Meßmethode wurde von verschiedenen Experimentatoren, teils mit einkopierten Lineaturen oder Netzen, verwendet und beschrieben.

X. Schwärzungsmesser für photographische Papiere.

Messung des Papierglanzes.

Wir haben bereits ausführlich über die Gradation und Schwärzung von photographischen Papieren im VI. Kapitel gesprochen.

Bei der Prüfung von photographischen Papieren geht man in der Regel von dem fixierten Papierbilde aus.

Allerdings ist es auch von Belang, die Veränderung der Schwärzung und des Schwellenwertes, sowie der Gradation am unfixierten photographischen Bilde (bei gelbem oder orangerotem Licht) zu

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

photometrieren. — Benützt man photographische Papiere, so liest man die Schwellenwerte am unfixierten Bilde bei inaktinischem Lichte ab, bestimmt das Zurückgehen der Schwärzung im neutralen Fixierbade und notiert diese Zahl zu gegenseitiger Reduktion dieser Werte (s. die Tabellen auf Seite 92).

Gegenwärtig wird in jeder größeren Fabrik photographischer Papiere die Qualität der Emulsion sowohl betreffs Empfindlichkeit

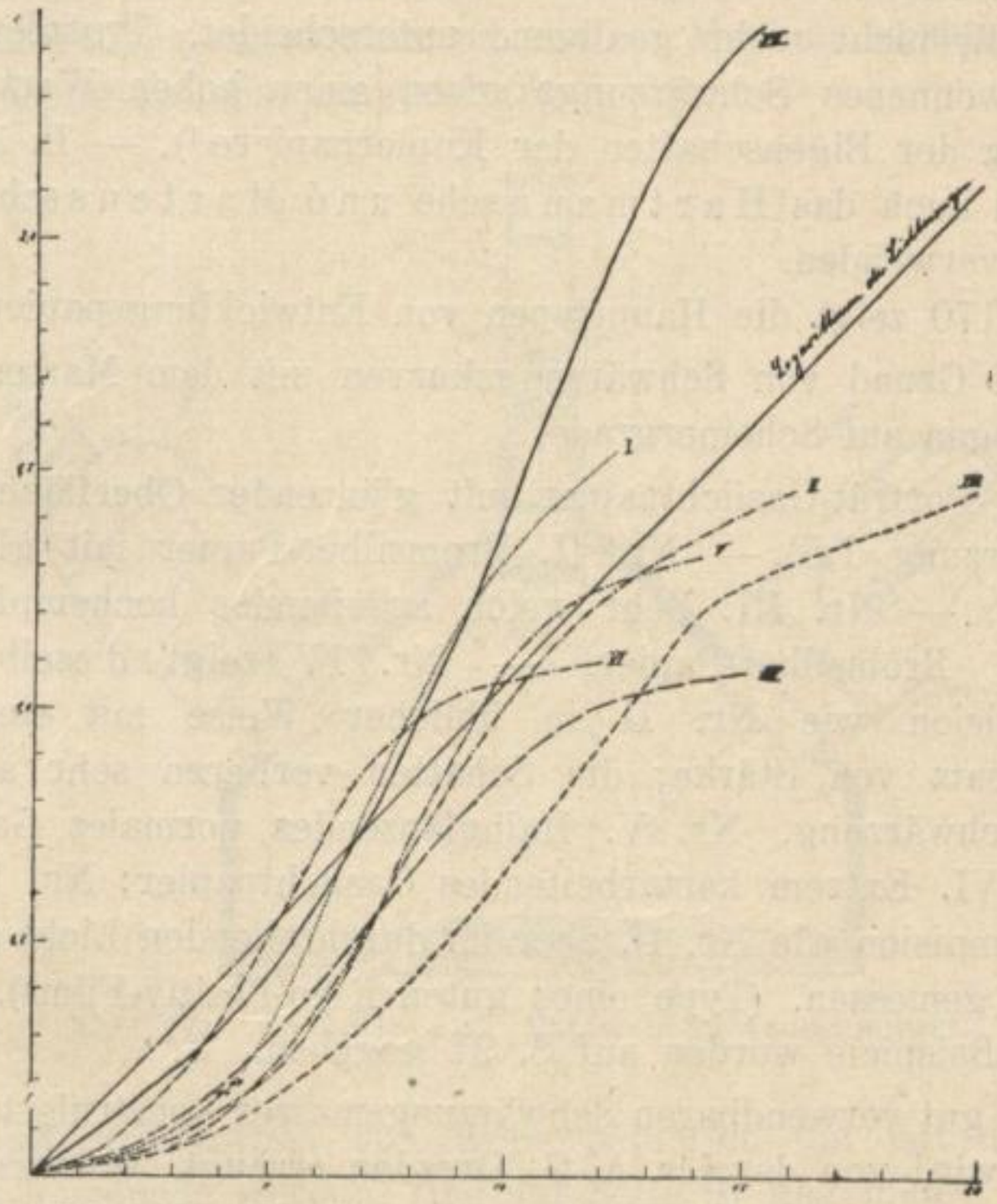


Abb. 170. Schwärzungskurven von Papierbildern, bezogen auf Scheinergrade (nach K. Kieser).

als Gradation festgestellt, wobei man sich in Deutschland zumeist der von Kieser geänderten Form des Scheiner-Sensitometers mit elektrischer Glühlampe bedient und darnach die Schwärzungskurven bestimmt; hierfür wird auch das Eder-Hechtsche Sensitometer und besonders häufig der Goldbergsche Papier-Densograph benützt.

Karl Kieser empfahl (Eders Jahrbuch für Phot. 1913, S. 105) die Exposition von Entwicklungspapieren mittels einer zehnkerzigen

kontrollierten Metallfadenlampe und bediente sich zur Schwärzungsmessung eines Polarisations-Photometers. Die Beleuchtung des Schwärzungsmessers lieferten zwei fünfzigkerzige Metallfadenlampen, welche von links und rechts ihr Licht unter 45 Grad auf die zu messenden Felder werfen. — Auf diese Weise werden die charakteristischen Schwärzungskurven gewonnen. Karl Kieser bemerkt hierzu, daß das Auge in den lichtesten Tönen wie in den tiefsten Schatten noch Schwärzungsunterschiede wahrnehmen kann, welche die Messung nicht mehr genügend unterscheidet. Trotzdem haben die so gewonnenen Schwärzungskurven einen hohen Wert für die Beurteilung der Eigenschaften der Kopierpapiere[1]). — In ähnlicher Weise sind auch das Hartmannsche und Martenssche Photometer zu verwenden.

Abb. 170 zeigt die Haupttypen von Entwicklungspapieren nach Kieser auf Grund von Schwärzungskurven mit dem Martens-Photometer bezogen auf Scheinergrade.

Nr. I. Porträt-Gaslichtpapier mit glänzender Oberfläche; Maximal-Schwärzung 1,5. — Nr. II. Bromsilber-Papier mit glänzender Oberfläche. — Nr. III. Sehr weich arbeitendes hochempfindliches glänzendes Bromsilber-Papier. — Nr. IV zeigt dieselbe Bromsilber-Emulsion wie Nr. II in üblicher Weise mit einem Mattierungszusatz von Stärke; die Schatten verlieren sehr an Kraft: Maximal-Schwärzung. Nr. V. Halbglänzendes normales Gaslichtpapier; Nr. VI. Extrem hartarbeitendes Gaslichtpapier; Nr. VII zeigt dieselbe Emulsion wie Nr. II, aber im durchfallenden Licht an einem Diapositiv gemessen. (Type eines guten Kino-Positiv-Films). Andere derartige Beispiele wurden auf S. 97 gegeben.

Einen gut verwendbaren Schwärzungsmesser konstruierte Goldberg; er wird von der Ica A.-G. Dresden erzeugt. Im wesentlichen geht dieser Papier-Schwärzungsmesser von der Kieserschen Anordnung aus, weicht aber insofern von ihr ab, als nur eine Linse zur Abbildung der zu messenden Papierstellen verwendet wird und die Abbildung nicht auf den unteren Öffnungen des Photometerkopfes erfolgt, sondern in dem Gesichtsfelde des Okulars, also auf dem Zwillingsprisma. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß man imstande ist, kleine Teile des Bildes zur Ausmessung zu bringen. —

---

1) Zur Messung des Glanzes der photographischen Papiere hat Karl Kieser einen Polarisations-Glanzmesser (D. R. G. Nr. 716 563) konstruiert, welchen die Firma Schmidt & Haensch in Berlin erzeugt (s. Eders Jahrb. f. Phot. 1927, S. 745 mit Abb.).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wir bringen in Abbildung 171 den Goldbergschen Apparat[1]); in einer Hülse ist der Kopf eines Martensschen Schwärzungsmessers m befestigt. In den beiden Blechgehäusen g, g befinden sich 200-kerzige mattierte Glühlampen, die den auf der Grundplatte liegenden Versuchsstreifen beleuchten. Mit Hilfe der Linse l werden im Gesichtsfeld des Photometers die Bilder des Versuchsstreifens und eines unbelichteten ausfixierten Versuchsvergleichsstückes derselben Papiersorte entworfen. — Auf der Grundplatte des Apparates ist eine Millimeter-Teilung angebracht, um die zur Messung gelangende Stelle des Versuchsstreifens feststellen zu können. —

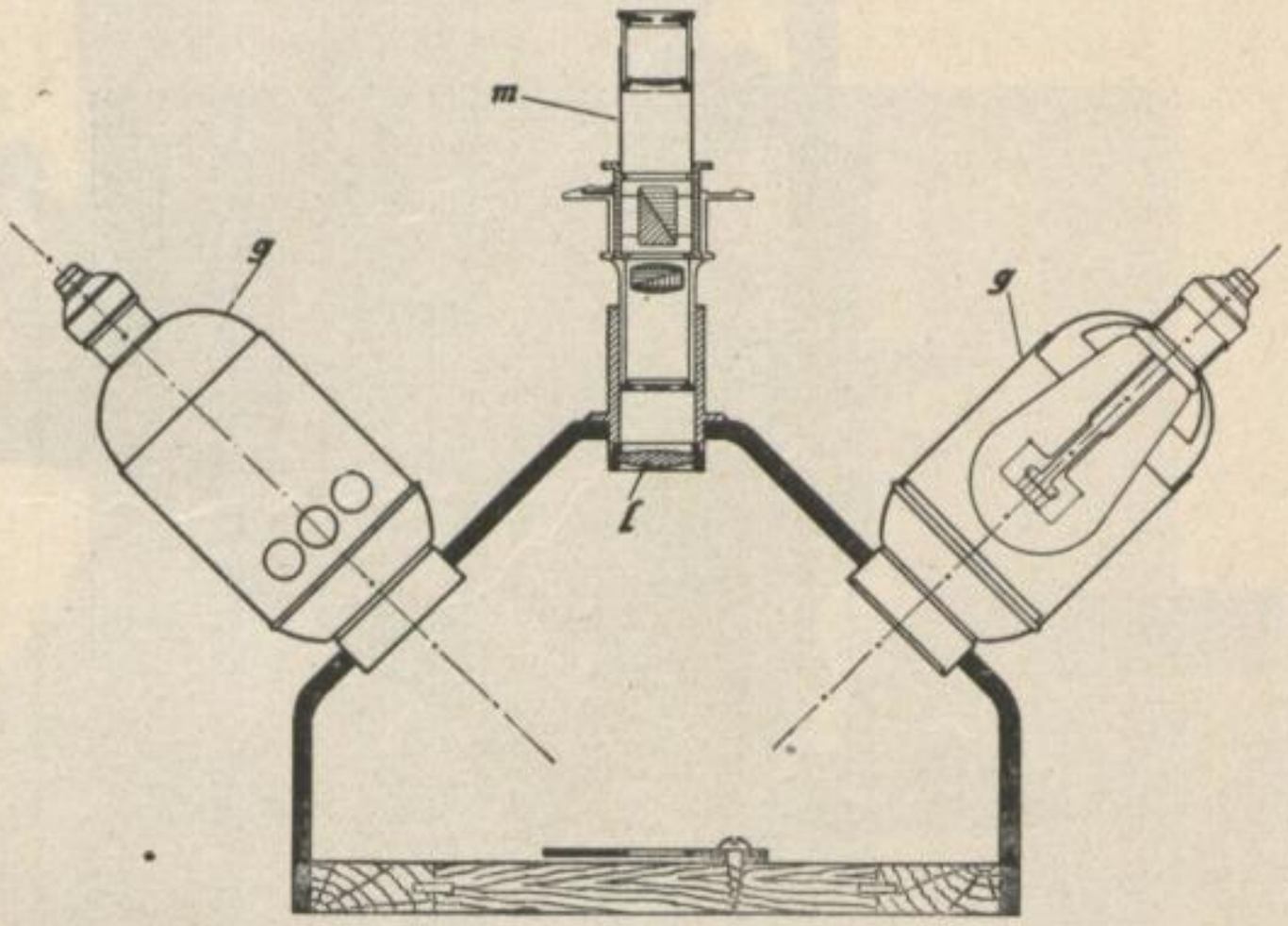


Abb. 171. Goldbergs Papier-Schwärzungsmesser.

Schwärzungskurven von Kopierpapieren, die mit dem Densographen gewonnen wurden, sind auf Seite 97 abgebildet.

Auch Winther und Mynster konstruierten einen Schwärzungsmesser für photogr. Papiere (Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 1926. Bd. 24. S. 298) u. a. — S. Eder' Jahrb. f. Phot. 1927, S. 745).

Die bisher angegebenen verschiedenen Konstruktionen der Glanzmesser verwenden verschiedene Einstrahlungs- und Beobachtungsrichtungen, z. B. Ingersoll 45°, Goerz 60°, Ostwald $22^1/_2{}^0$.

---

2) Nach E. Goldberg, „Der Aufbau des photographischen Bildes. Halle, 1912“ (W. Knapp), S. 55. Daselbst sind auch charakteristische Kurven verschiedener Typen photographischer positiver Kopien angegeben. —

Die Umrechnung der verschiedenen Reflexionszahlen, die nur unter der Annahme vollkommen gleichartiger Reflexion bei den verschiedenen Papieren erfolgen könnte, wird dadurch sehr erschwert, ja beinahe unmöglich.

Einen Glanzmesser, der sich zur Messung des Glanzes von Papier und allen anderen Stoffen eignet, konstruierten die „Askania-Werke“ in Berlin („Askania“-Glanzmesser, D. R. G. M. 961 277).

Der in Abb. 171 ersichtliche „Askania“ — Glanzmesser hat einen Meßbereich vom Glanzgrad 0 (das ist auf Grund internationaler Festsetzung der Glanz einer Gipsfläche) bis zum Glanzgrad 100

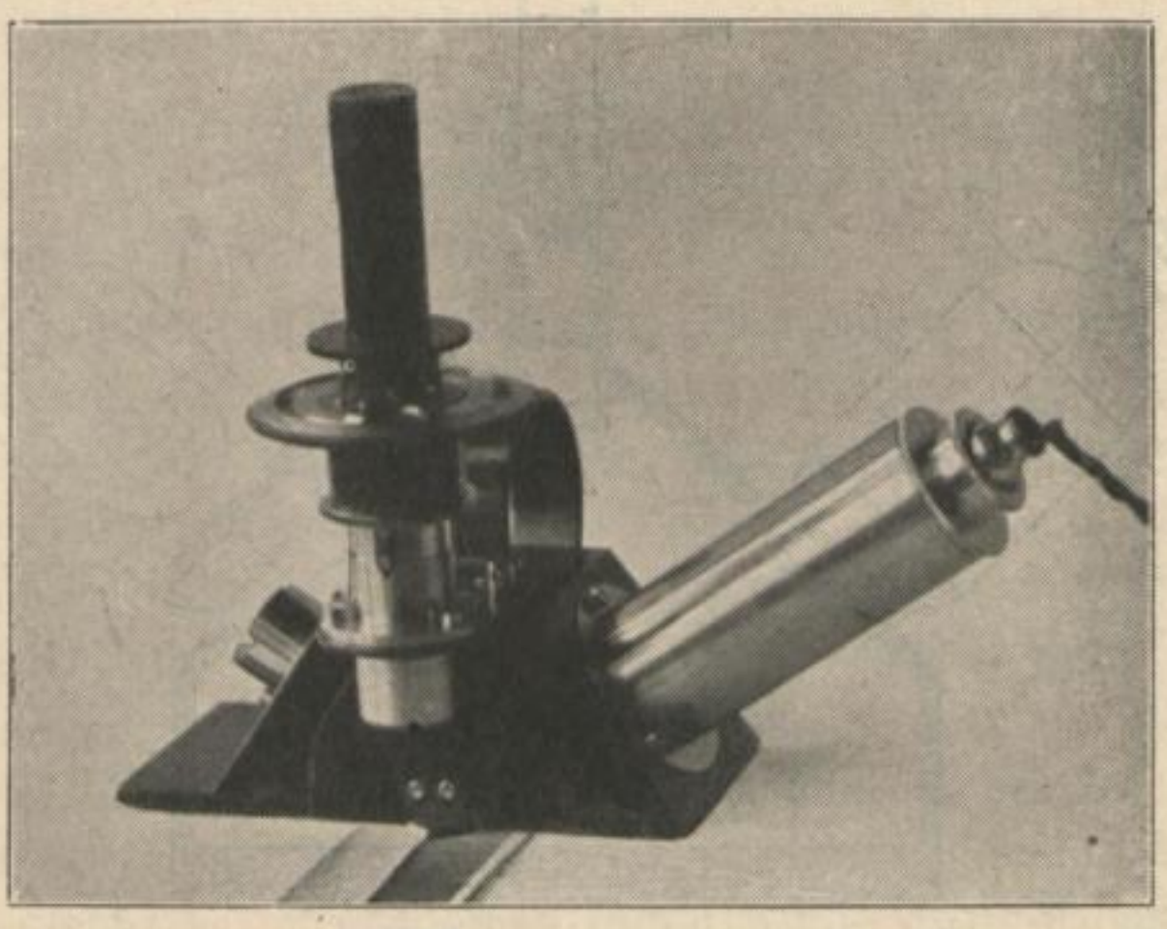


Abb. 172. Askania-Glanzmesser.

(Glanz der Totalreflexion). — Durch Variation der Auffallsrichtung des Lichtes auf den zu untersuchenden Stoff und ebenfalls durch Variation der Beobachtungsrichtung wie auch dadurch, daß man die Messung in 4 verschiedenen Lichtarten vornehmen kann, ist jedem in der Praxis vorkommenden Fall Rechnung getragen worden. Die Messung geschieht in höchst einfacher Weise: Der Apparat wird auf die zu untersuchende Fläche aufgesetzt (an senkrechten Flächen einfach angehalten) und mittels Drehung an den auf der rechten Seite der Abbildung sichtbaren Kordelknopf das zweiteilige Gesichtsfeld auf gleiche Helligkeit gebracht. Die an der Teilung mittels Indexstrich abgelesene Zahl ist das Maß für den Grad des Glanzes. (Erhältlich bei Askania-Werke A.-G., Berlin-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Friedenau, Kaiserallee 87/88; s. H. Schulz und Ewald, Eders Jahrb. f. Phot. 1927. S. 746. In diesem „Jahrbuch" sind noch weitere Referate enthalten.)

Photoelektrischer Meßapparat nach Kohl.

Da häufig in den Spektrogrammen die wirkliche Lage der Linien in visueller Beobachtung unmöglich ist, lag das Bedürfnis vor, den

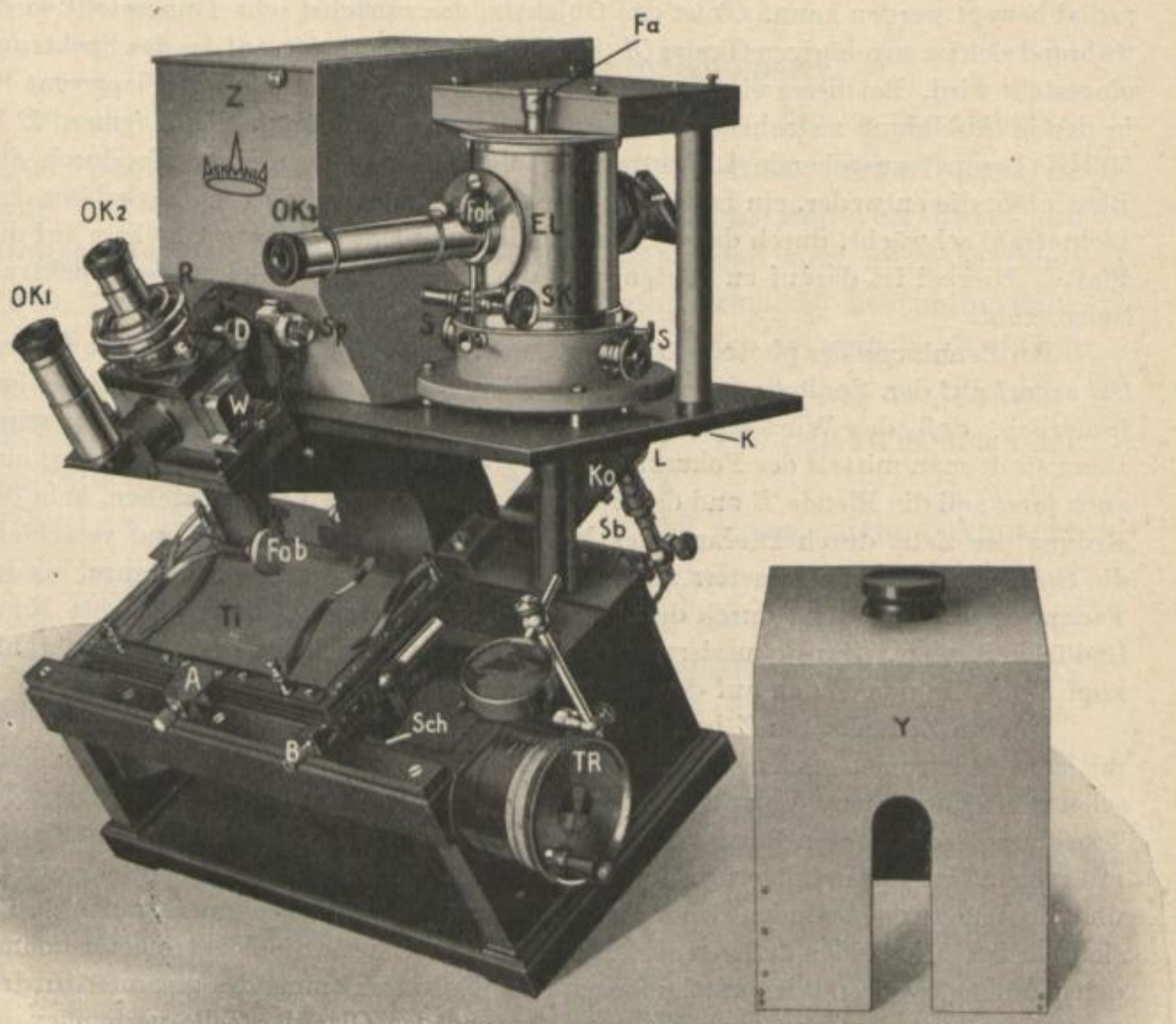


Abb. 173 und 174. Photoelektrischer Meßapparat nach Kohl.

in Abb. 173 und 174 zu sehenden Apparat nach Kohls Angaben zu bauen. Es handelt sich hier um ein Mikrophotometer hoher Empfindlichkeit, das neben der visuellen Beobachtung mittels einer Photozelle und einem Elektrometer einmal die wirkliche Lage einer Linie,

andererseits das Schwärzungsverhältnis zweier Linien zueinander bestimmen läßt. Diese Bestimmung ist von besonderer Wichtigkeit für Absorptionsspektren, bei denen die Aufhellung mit diesem Apparat bequem festgestellt werden kann. Dieser Meßapparat wurde von den Askania-Werken in Berlin hergestellt.

Beschreibung und Handhabung des Kohlschen Apparates. Der Apparat besteht aus dem Meßtisch *Ti*, der durch eine Präzisionsschraube seitlich, durch die Schraube *A* senkrecht zu dieser Richtung und durch Schraube *B* radial bewegt werden kann. *Ob* ist das Objektiv, das zunächst scharf eingestellt wird, während sich im zugehörigen Okular Ok_2 ein Fadenkreuz befindet, auf das das Spektrum eingestellt wird. Bei dieser visuellen Beobachtung befindet sich das Würfelaggregat *W* in der in Abbildung zu sehenden Lage. Der von der Lichtquelle *L* (einer 12 V 50 HK Lampe) ausgehende Lichtstrahl geht durch den Kondensor *Ko* durch die Blende *Sb*, die entweder, ein bestimmtes Feld ausblendet, oder durch Farbgläser den Lichtstrahl schwächt, durch das auf der Abbildung nicht sichtbare Objektiv auf die Platte. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Blende *Sb* parallel zu den Spektrallinien steht.

Bei Benutzung der photoelektrischen Anordnung stellt man zunächst das Okular *Okl* scharf auf den Spalt *Sp*, der durch die Blende *B* zu sehen ist, ein. Dazu ist erforderlich, daß das Würfelaggregat in die Lage der Abbildung gebracht wird. Dann stellt man mittels des Fokuszierungskopfes *Fob* das Objektiv wieder scharf ein, auch jetzt soll die Blende *B* und der Spalt *Sp* parallel zu den Linien stehen, hebt die Erdung der Zelle durch Drehung des Erdungsschlüssels wieder auf und verschiebt die Schneiden des Elektrometers mit Hilfe der Einstellvorrichtung *S* so lange, bis der Faden, dessen Spannung durch den Knopf *Fa* reguliert wird, die gewünschte Empfindlichkeit zeigt. Zur Fokuszierung des Elektrometerobjektivs dient der Schraubkopf *Fok*. Um den Faden auf der Skala zu zentrieren, dient der Knopf *Sk*.

In dem Zellenkasten *Z* befindet sich eine Zelle nach Koch-Goos, deren Gitter mit dem Elektrometerfaden verbunden ist. Der Belag, der nach beigefügtem Schaltschema eine bestimmte Vorspannung erhält, ist mit der Klemme *Be* verbunden. Zur Trocknung des gesamten Raumes dient das Trockengefäß *To*, das am zweckmäßigsten mit reinem Natrium gefüllt wird. Auf der Unterseite des Tisches, der das Elektrometer und die Zelle trägt, befinden sich 3 Anschlußklemmen, von denen eine *K* auf Abb. 173 sichtbar ist. Die beiden äußeren sind Anschlußklemmen für die Elektrometer-Schneidenspannung, während der mittlere Knopf die Erdungsklemme des gesamten Instrumentes ist, mit dem also auch Elektrometer und das Glas der Zelle verbunden ist. *Y* ist der Schutzkasten für das Elektrometer, der wie in Abb. 173 zu sehen ist, nach der Messung aufgesetzt wird.

Die Messung erfolgt nun mittels Ablesezählwerk und Trommel in bekannter Weise. Um nun mehrere Spektren miteinander vergleichen zu können, ist die Blende *B* so eingerichtet, daß sie nur jeweils ein Spektrum (evtl. 2 Vergleichsspektren) auf den Spalt einstellen läßt. Durch Verschiebung der Blende nach rechts kann dann das zu untersuchende Spektrum auf den Spalt gelangen.

Normalerweise wird der Zellenstrom durch einen hochohmigen Widerstand von ca. 10^8 Ohm abgeleitet, jedoch ist der Zellenkasten so eingerichtet, daß auch eine Kompensationszelle untergebracht werden kann, die dann ebenfalls von der Lichtquelle *L* betätigt wird. Dadurch können stärkere Schwankungen der Intensität des

Lichtstrahls ausgeglichen werden. Für geringe Schwankungen genügt der hochohmige Widerstand.

Die Spindel des Meßtisches ist von bekannter Güte und Genauigkeit (vgl. Prof. Przibyllok, Jahresbericht der Sternwarte Königsberg, 1926).

Der große Vorteil des Instrumentes besteht also darin, daß es einmal als Meßtisch die unvermeidlichen Fehler einer visuellen Beobachtung aufhebt und dadurch eine exakte Ausmessung der Spektren ermöglicht, andererseits die unangenehmen Erscheinungen des visuellen Mikrophotometers, die durch die verschiedene Korngröße von Vergleichskeil und Spektrogramm bedingt sind, aufhebt.

X. Selbstregistrierende Mikrophotometer.

Durch lichtelektrische Registrierphotometer können die Schwärzungen photographischer Platten innerhalb ganz kleiner Bezirke sowohl an Spektrumphotographien als auch an anderen optischen photographischen Phänomenen objektiv gemessen und aufgezeichnet werden und danach kann die relative Lichtintensität bestimmt werden. Bei diesen selbstregistrierenden Photometern ist das Auge durch einen Apparat ersetzt, der direkt die Intensität des von der Schwärzung durchgelassenen Lichtes mit Hilfe einer photoelektrischen oder Selen-Zelle direkt bestimmt und registriert.

Peter Paul Koch[1]), der zuerst 1912 einen solchen Apparat erfand, bediente sich dazu einer lichtelektrischen Kaliumzelle, auf die das Licht einer Nernstlampe durch die zu photometrierende Platte hindurch fällt. Diese Zelle ist mit einem Saiten-Elektrometer verbunden. Eine zweite lichtelektrische Zelle wird direkt von der Nernstlampe bestrahlt. Der Ausschlag des Elektrometers, das mit einem photographischen Registrierapparat gekoppelt ist, gibt direkt ein Maß für die Beleuchtungsunterschiede der beiden Zellen, also die Schwärzung der Platte und zwar unabhängig von den Schwankungen der Lichtquelle. Später wurde das Kochsche Registrierphotometer nach neueren Erfahrungen, die besonders an dem im „Einsteinturm“ in Potsdam aufgestellten Instrument von Prof. Freundlich u. a. wesentlich verbessert und von den Askania-Werken in Berlin ausgeführt (s. S. 473). Das Kochsche Registrierphotometer arbeitet rasch und sicher und gibt z. B. die zartesten Helligkeitsunterschiede im Bau sehr nahe nebeneinander stehender Spektrallinien oder dergleichen.

Das Koch-Freundlichsche Registier-Mikrophotometer ist von den Askania-Werken A.-G. in Berlin-Friedenau neu konstruiert und als Ampho 5 nach Koch und Goos unter

1) P. P. Koch, Annal. d. Bhys. 4. Folge 1912. Bd. 39, S. 705.

Mitwirkung von Dr. Freudlich vom Einstein-Institut in Potsdam erzeugt worden. Diese kostbaren Apparate sind sehr kompliziert und schwierig zu bedienen, leisten aber Außerordentliches.

Abb. 175 zeigt das eben erwähnte große photographisch registrierende Mikrophotometer der Askania-Werke. Die Größe des Plattentisches ist 23 × 30 cm, die Länge der Meßschraube 10 cm.

Das große photographisch registrierende Mikrophotometer nach Koch und Freundlich (samt Akkumulatorenbatterie) ist in Abb. 176 dargestellt.

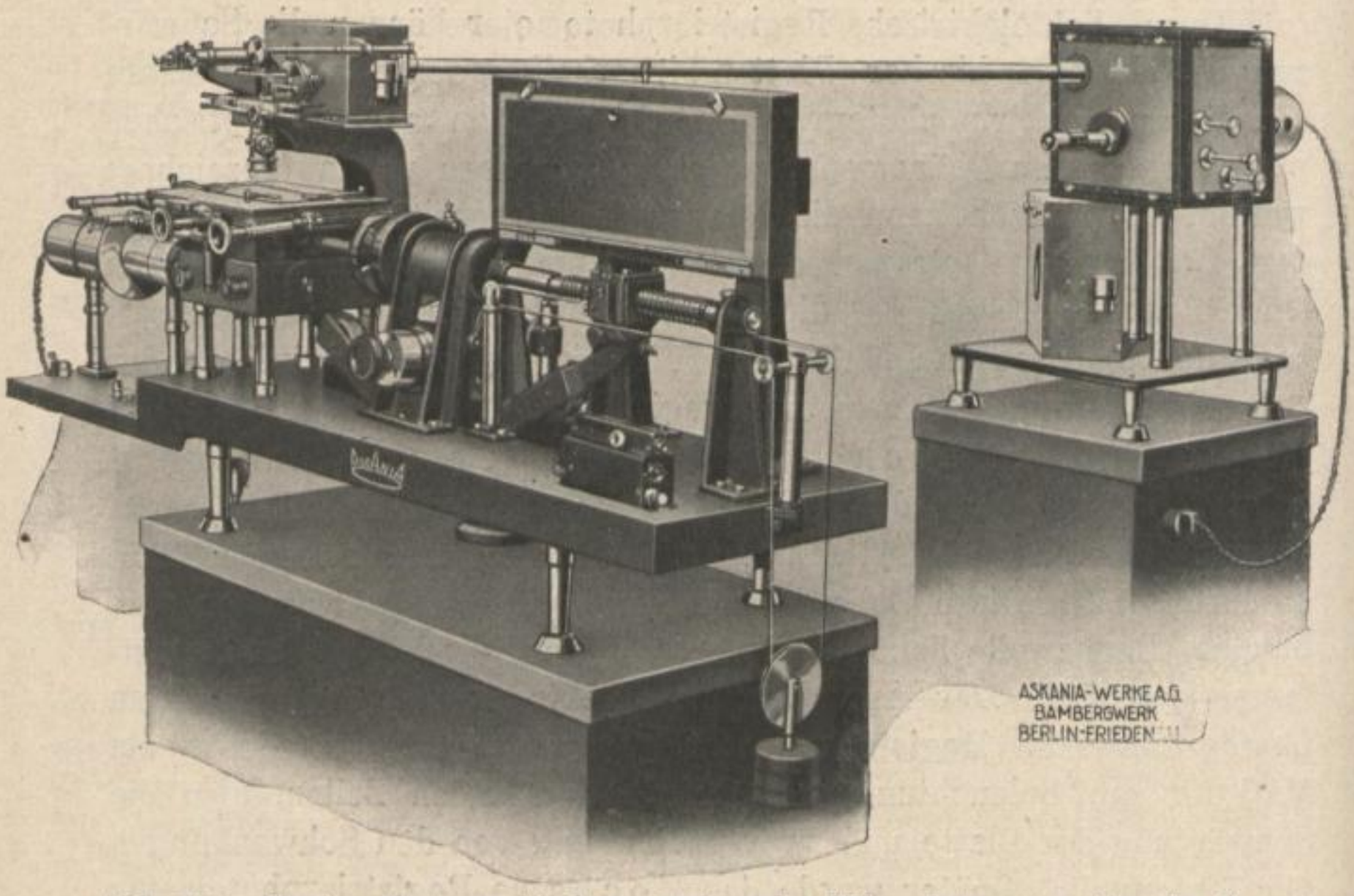


Abb. 175. Großes photographisch registrierendes Mikrophotometer (Ampho 6) nach Koch-Freundlich.

Die Eignung des Kochschen Mikrophotometers zur absoluten Messung der Schwärzung beschreibt H. Beutler (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1927, Nr. 2) und setzt die Trägheit der Elektrometeraufladung durch geeignete Anordnung auf den zehnten Teil herab.

Auch die physikalische Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg verfügt über einen solchen Selbstregistrator, ebenso das Eastman-Kodak Versuchslaboratorium in Rochester zur Messung der Schärfe und des Auflösungsvermögens photographischer Negative. (Orin

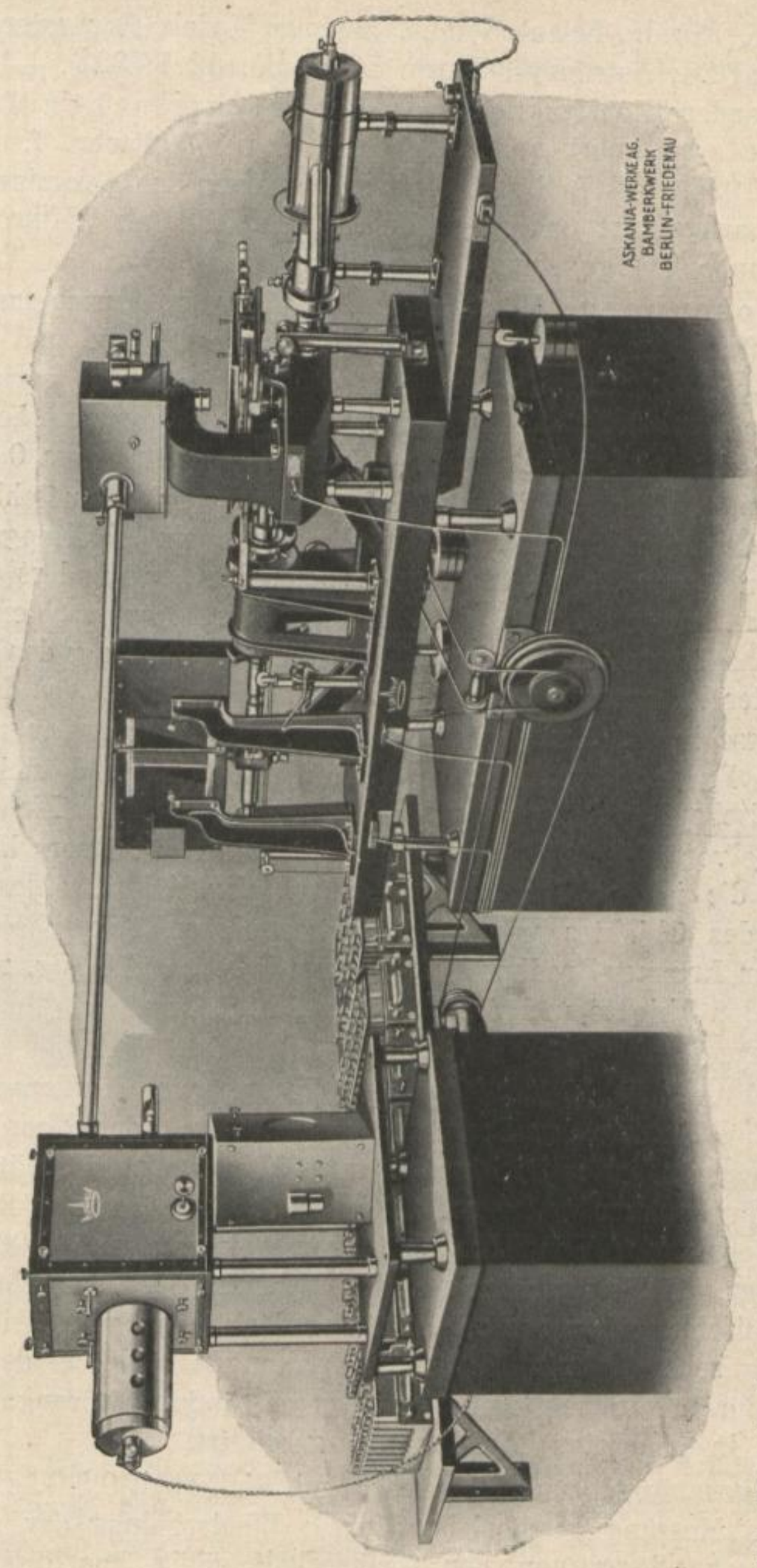


Abb. 176. Großes photographisch registrierendes Mikrophotometer nach Koch-Freundlich mit Akkumulatorenbatterie.

Tugman, Abridg. Scient. Public. Eastman-Kodak, Rochester. 1915 Nr. 27 und 28; Astrophys. Journ. 1915, Bd. 42 S. 321). —

Eine andere Konstruktion eines lichtelektrischen Mikrophotometers rührt von H. Rosenberg (Zeitschr. f. Instrumentenk. 1925, Heft 7, S. 313) her; sie wird von den Askaniawerken in Berlin ausgeführt und zeigt die in Abb. 177 (als „Mikrophotometer Ampho 7“) gegebene Form.

H. Rosenbergs Mikrophotometer dient zur Ausmessung einzelner, auf der Platte unregelmäßig verteilter Objekte und kurzer Spektren und Schnitte über ausgedehntere Objekte bei geringstem Zeitaufwand und höchster Genauigkeit und zur photometrischen Messung kleinster fokaler Sternscheibchen auf der Platte (etwa 0,01 mm Durchmesser). Photozelle und Elektrometer werden ausschließlich als Nullinstrument benutzt. Zweite Photozelle als Ableitungswiderstand, von der gleichen Lichtquelle beleuchtet, verhindert Helligkeitsschwankungen der Meßzelle. Einschaltbare Revolverblende mit Absorptionsgläsern verschiedener Dichte zur Regulierung des Widerstandes der Kompensationszelle und damit der Größe des Elektrometer-Ausschlages. Lutz-Edelmannsches Saitenelektrometer mit gespanntem Faden; Empfindlichkeit 100 Skalenteile (und mehr) pro Volt. Optischer Rauchglaskeil als Helligkeitskompensator. Lichtquelle: Glühlampe von 12 Volt/20 Watt. Blendenschieber mit 5 verschiedenen Blenden, die in der Plattenebene scharf abgebildet werden. Einstellung des Objektes wie beim Hartmannschen Mikrophotometer. Spiegel im Lummer-Brodhun-Würfel etwa 5 ‰ durchlässig, zur Einstellung der Objekte und Auswahl der Blenden und der Mikroskopvergrößerung.

Objekttisch für Platten bis zu 20×20 cm, volle Positionsdrehung um 360°, Ablesung der Positionsdrehung auf 1′, der Koordinatenverschiebung in beiden Richtungen auf 0,01 mm mittels Schätzmikroskops, Mikrometerschraube von 20 mm nutzbarer Länge in Richtung der Y-Koordinate, Ganghöhe 0,5 mm, Ablesung auf 0,001 mm. Photozellen und Elektrometer sind auch während der Messungen durch ein Metallschutzgehäuse staubdicht abgedeckt, das gleichzeitig zum elektrostatischen Schutz dient. Alle Leitungen sind aus demselben Grunde durch Bernstein isoliert und gegen äußere Störungen durch Führung in geerdeten Metallrohren geschützt.

Meßgenauigkeit nach Rosenberg: mit Sicherheit 0,5%, die durch einmalige Messung gewährleistet wird; Wiederholung der gleichen Messung zur Steigerung der Genauigkeit völlig überflüssig. Die

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Messungen sind außerdem frei von etwaigen Nullpunktverschiebungen und Empfindlichkeitsänderungen des Elektrometers. Die Art der Abhängigkeit des Photostromes von der Lichtstärke hat keinen Einfluß

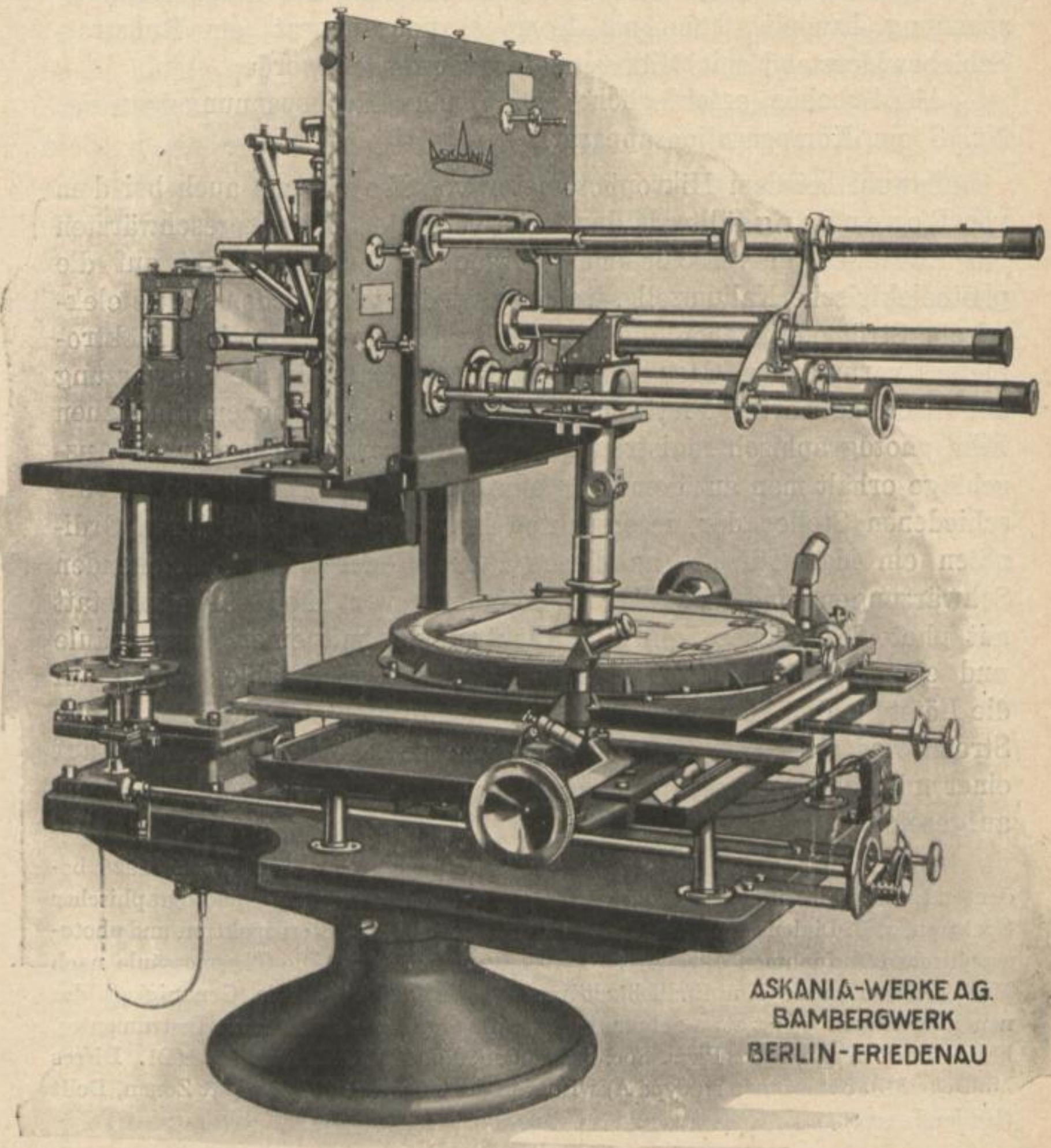


Abb. 177. Mikrophotometer Ampho 7 (lichtelektrisches Photometer von Rosenberg).

auf das Messungsergebnis, wenn die Beleuchtung mindestens eine Viertelstunde vor Beginn der Messungen eingeschaltet und die gewünschte Helligkeit eingestellt ist, da dann die Zellen ihren Gleich-

gewichtszustand erreicht haben. Ermüdungserscheinungen der Kompensationszelle haben auf die Messungen ebenfalls keinen Einfluß, desgleichen Schwankungen der Lampenspannung von + 0,50 Volt.

Wenn es sich nicht um sehr exakte Messung der Kompensationsspannung handelt, kann als Kompensationsapparat ein Ruhstrat-Schiebewiderstand mit Millivoltmeter verwendet werden.

Als Zubehör erforderlich: Nr. 7 eine Hochspannungsbatterie, Nr. 8 ein Kompensationsapparat.

Sowohl bei dem Mikrophotometer von Koch, als auch bei dem von Rosenberg fällt das durch die verschieden stark geschwärzten Negativstellen in verschiedenem Grade geschwärzte Licht auf die photoelektrische Kaliumzelle, wodurch wieder verschieden starke elektrische Ströme entstehen, die entsprechende Ausschläge eines Elektrometers verursachen. Der Ausschlag ist ein Maß für die Schwärzung der photometrierten Platte und wird auf einem hochempfindlichen Film photographisch registriert. Durch die verschieden starken Ausschläge erhält man auf dem Film eine Kurve, deren Abszissen zu verschiedenen Stellen der untersuchten Platte gehören und deren Ordinaten ein Maß für die an diesen Punkten der Platte bestehenden Schwärzungen sind. Das Mikrophotometer von Moll arbeitet statt mit photoelektrischer Zelle und Elektrometer mit einer Thermosäule und einem Galvanometer. Die durchgelassenen Strahlen fallen auf die Lötstelle der Thermosäule und der dadurch entstehende elektrische Strom wird mit dem Galvanometer gemessen, dessen Ausschläge auf einer mit lichtempfindlichem Papier überzogenen rotierenden Trommel aufgezeichnet werden.

Das „Mollsche Registrier-Mikrophotometer“ wurde 1928 bedeutend verbessert und eignet sich vorzüglich zur Untersuchung photographischer Spektren, z. B. Linien- und Banden-Spektren, Zemaneffekt, Sternspektren und photographischen Aufnahmen aller Art. Das Galvanometer und die Thermossäule nach Moll besitzen große Empfindlichkeit und Geschwindigkeit. Die Genauigkeit des neuen Instrumentes ist etwa zehnmal größer als diejenige des früheren Instrumentes, beschrieben in den Proc. Phys. Soc. of London, Bd. XXXIII, Juni 15, 1921. Dieses Mollsche Mikrophotometer (Type A) wird von der Firma P. J. Kipp & Zonen, Delft (Holland) erzeugt.

Ein auf demselben Prinzip beruhendes selbstregistrierendes Photometer haben Albrecht und Dorneich konstruiert. Die Abb. 178 zeigt (nach „Physikal. Zeitschr. 1925. Bd. 26; Neuburger, Phot. Korresp. 1926) die Anordnung dieses Photometers in schematischer Darstellung.

Das „Lichtelektrische Kopier-Photometer“ der Optischen Werke

von Carl Zeiß in Jena ist ein sehr sorgfältig konstruiertes Instrument, das zum objektiven Messen und photographischen Aufzeichnen der Schwärzung photographischer Platten und Filme dient (Abb. 179 und 179 a).

Prinzip: Die durch die zu untersuchende Platte (Objekt) tretende Lichtmenge fällt auf eine lichtelektrische Kalium-Wasserstoff-Zelle nach Elster und Geitel. Der in dieser äusgelöste Photostrom fließt durch einen konstanten Widerstand von etwa 10^9 Ohm. Die zwischen den Enden dieses Widerstandes auftretende Spannungsdifferenz wird gemessen mit einem Einfadenelektrometer nach Wulff. Wird nun das Objekt vor der Photozelle senkrecht zum Lichtstrahl bewegt, und der Elektrometerfaden auf einer gleichfalls

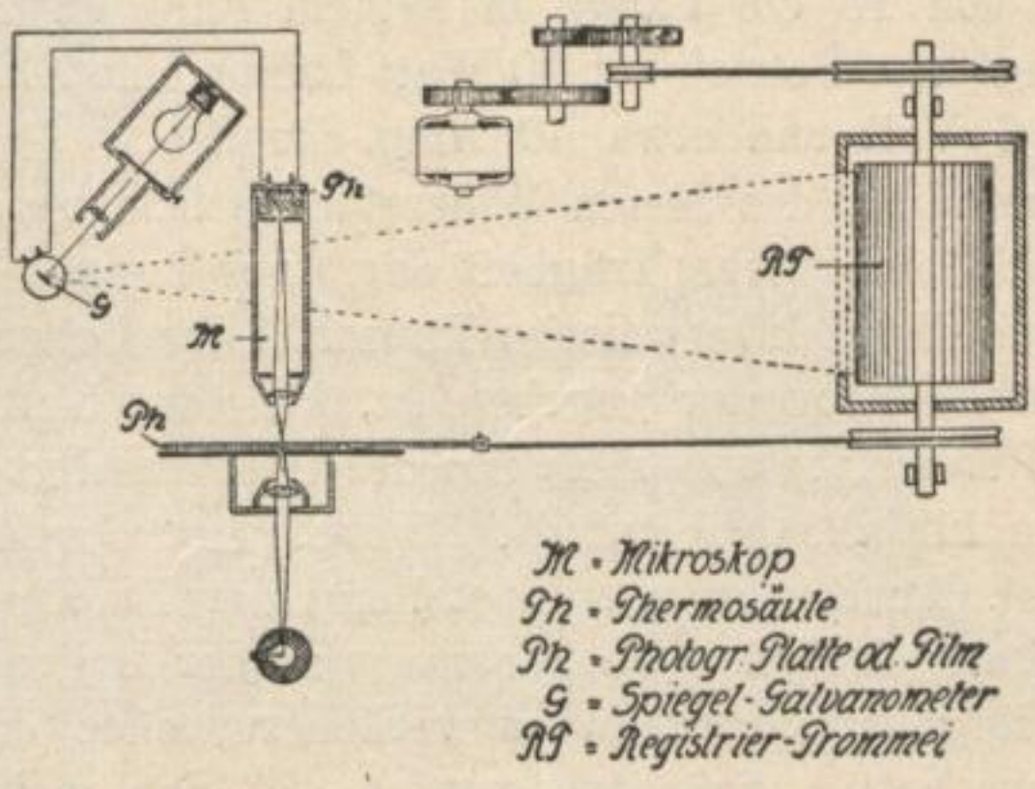


Abb. 178. Selbstregistrierendes Photometer.

bewegten Photoplatte (Registrierplatte) abgebildet, so entsteht auf dieser eine stetige Kurve, die Registrierkurve; sie gibt lückenlos den Verlauf der Absorption des Objekts in der Registrierrichtung wieder. Wird die Registrierplatte schneller bewegt als das Objekt, so läßt die Kurve feinere Einzelheiten des Objekts erkennen. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten ist in weiten Grenzen (von 1 bis etwa 300) stetig veränderlich.

Ausführung: Allgemeines: Das Instrument ist mit besonderer Sorgfalt so konstruiert, daß es in kürzester Zeit von den verschiedenartigsten Objekten scharf gezeichnete Kurven bei einfachster Handhabung und bei geringem Aufwand an elektrischer Energie liefert. Außerdem ist bei der Einfachheit der übertragenden Teile die größte

Genauigkeit in der Führung von Objekt- und Registrierplatte gewährleistet.

Photoelektrische Einrichtung: Abweichend von dem ersten Registrierphotometer, das P. P. Koch (Ann. d. Physik 39, 705, 1913) beschrieben hat, verwenden die Zeißwerke einen festen Widerstand zur Ableitung des Photostromes, keine zweite Kompensationszelle. Sie haben sich auf Grund eingehender Untersuchungen zu dem Verzicht auf die Kompensationsschaltung entschlossen, der in der Publikation von G. Hansen (Zeitschr. f. Instrumentenk., 47, 71, 1927) begründet ist.

Wegen des Fehlens einer Kompensationsvorrichtung muß die Lichtquelle während der Registrierdauer völlig konstant gehalten werden. Da die Dauer einer Registrierung 7 Minuten für eine Registrierplatte von 18 cm Länge in keinem Falle zu überschreiten braucht, genügt zum Betrieb der 10 Watt-Lampe eine Akkumulatorenbatterie von 6 Volt und etwa 40 Amp.-Stunden.

Die Verwendung des festen Widerstandes bringt vor allem den Vorteil, daß die elektrische Trägheit der Anordnung, die durch den Widerstand und die elektrostatische Kapazität des Leitergebildes von der Zelle zum Elektrometer gegeben ist, konstant bleibt. So ist es möglich, die Registrierplatte stets mit der Geschwindigkeit laufen zu lassen, die ein für alle Mal auf die Einstelldauer des Elektrometers abgestimmt ist. Ferner ist zur Einstellung der Empfindlichkeit der ganzen Anordnung lediglich die Spannung an der Beleuchtungslampe durch einen Regulierwiderstand zu verändern, ohne daß die elektrischen Eigenschaften geändert werden. In den weitaus meisten Fällen kann die Lampe mit 4 bis 5 Volt brennen. — Bei der von Zeiß gewählten Anordnung ist das Elektrometer leicht so einzustellen, daß die Ausschläge mit Sicherheit der auf die Zelle fallenden Lichtintensität proportional sind und zwar streng, so daß auch quantitative Absorptionsmessungen mit dem Instrument ausgeführt werden können.

Mechanische Einrichtung des Zeißschen lichtelektrischen Photometers: Die zu photometrierende Platte ist auf dem Tisch des Schlittens S_1 justierbar gelagert, während der Schlitten S_2 die Registrierplatte aufnimmt. Der Schlitten S_1 mit der Objektivplatte und der Schlitten S_2 mit der Registrierplatte laufen mittels Kugellager auf den geschliffenen Stahlzylindern Z_1 und Z_2, die parallel zueinander ausgerichtet sind. Beide Schlitten sind durch ein Stahllineal L miteinander verbunden, dessen eine Stirnfläche St eben geschliffen ist. Das Lineal ist an dem Schlitten S_2 drehbar an-

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

gehängt und wird durch die federnde Schere Sch_1 gegen die Kontaktrolle K_1 des Schlittens S_1 gepreßt. Unter dem Lineal befindet sich eine Schlittenführung F (im Aufriß zu sehen), auf der ein Schlitten *Schl* angeordnet ist, der die Kontaktrolle K_2 trägt. An dieser Kontaktrolle wird das Lineal ebenfalls durch eine federnde Schere Sch_2 gehalten. Die Kontaktrolle K_2 dient als Drehpunkt für das Lineal L. Verschiebt man die Rolle auf dem Schlittenbett durch Drehen am Handrad H_1, so können beliebige Übersetzungsverhältnisse der Schlittenbewegungen von 1:1 bis rund 300:1 erzielt werden. Die gewünschte Übersetzung wird nach Maßstab und Nonius eingestellt.

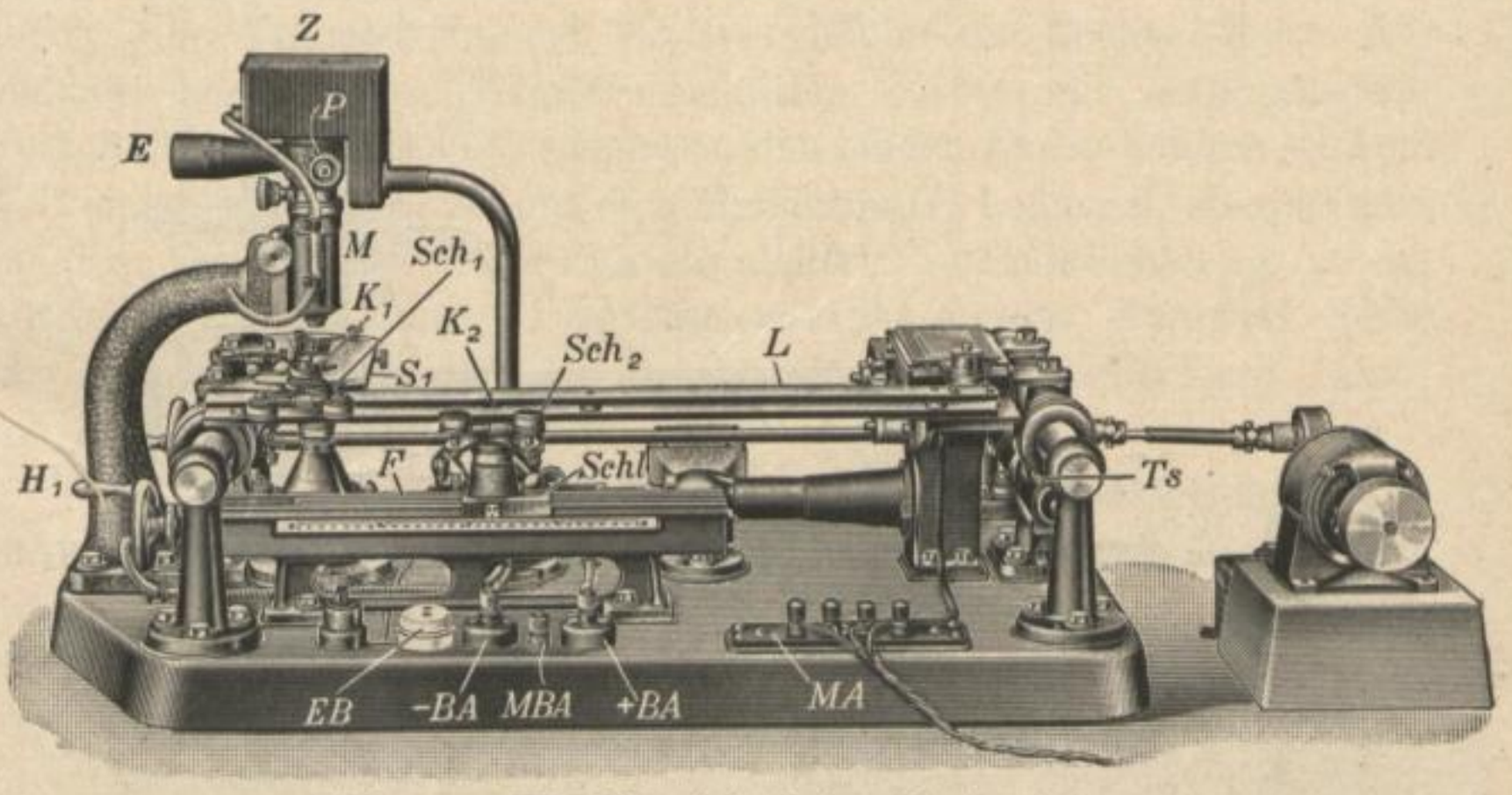


Abb. 179. Zeiß lichtelektrisches Kopierphotometer.

Vorzüge der Zeißschen Hebelanordnung für die Übertragung der Schlittenbewegung. Bei der ersten, nicht veröffentlichten Konstruktion war die Übertragung der Schlittenbewegung so ausgestaltet, daß beide Schlitten von je einer Meßschraube mit gleicher Steigung angetrieben wurden, deren Umdrehung durch verschiedene Schalträder mit abgestuften Übersetzungsverhältnissen festgelegt war. Die hohen Anforderungen, die an die Steigungsgenauigkeit der Schrauben, sowie an die genaue Teilung der übertragenden Zahnräder gestellt werden, haben uns veranlaßt, von dieser Art der Übertragung abzusehen.

Die Vorteile der neuen Übertragungsanordnung mit Hebel liegen darin, daß bei ganz wesentlich herabgesetzten Kosten die Fehlerquellen auf ein Minimum gebracht sind und die Übersetzungsverhältnisse in weiten Grenzen beliebig gewählt werden können.

Die Antriebsspindel des Registrierschlittens dient in erster Linie nur als Transportspindel. Die Kontaktrollen K_1 und K_2 sowie die Schwenkachse des Lineals am Registrierschlitten werden bei Übersetzung 50 : 1 nur auf $^1/_{10}$ und Übersetzung 1 : 1

auf ¾ ihres Umfangs in Anspruch genommen, so daß bei den als Kontaktrollen verwendeten Kugellagern der Schlagfehler von 0,001 mm außer Betracht gelassen werden kann.

Optische Einrichtung: Das Objekt wird mittels normaler Mikroobjektive beleuchtet, die eine durch Kreuzspalte gebildete rechteckige Öffnung in der Objektebene abbilden. Das Objekt wird dann vergrößert auf einem Präzisionsspalte abgebildet, an dem die endgültige Bildbegrenzung in der Photometrierrichtung erfolgt. Vom Spalt gelangt das Licht in die Photozelle oder, zur Einstellung des Bildes, auf eine Mattscheibe.

Die zur Beleuchtung und Abbildung des Objektes dienenden optischen Teile sind so ausgewählt, daß die Ausdehnung des Licht-

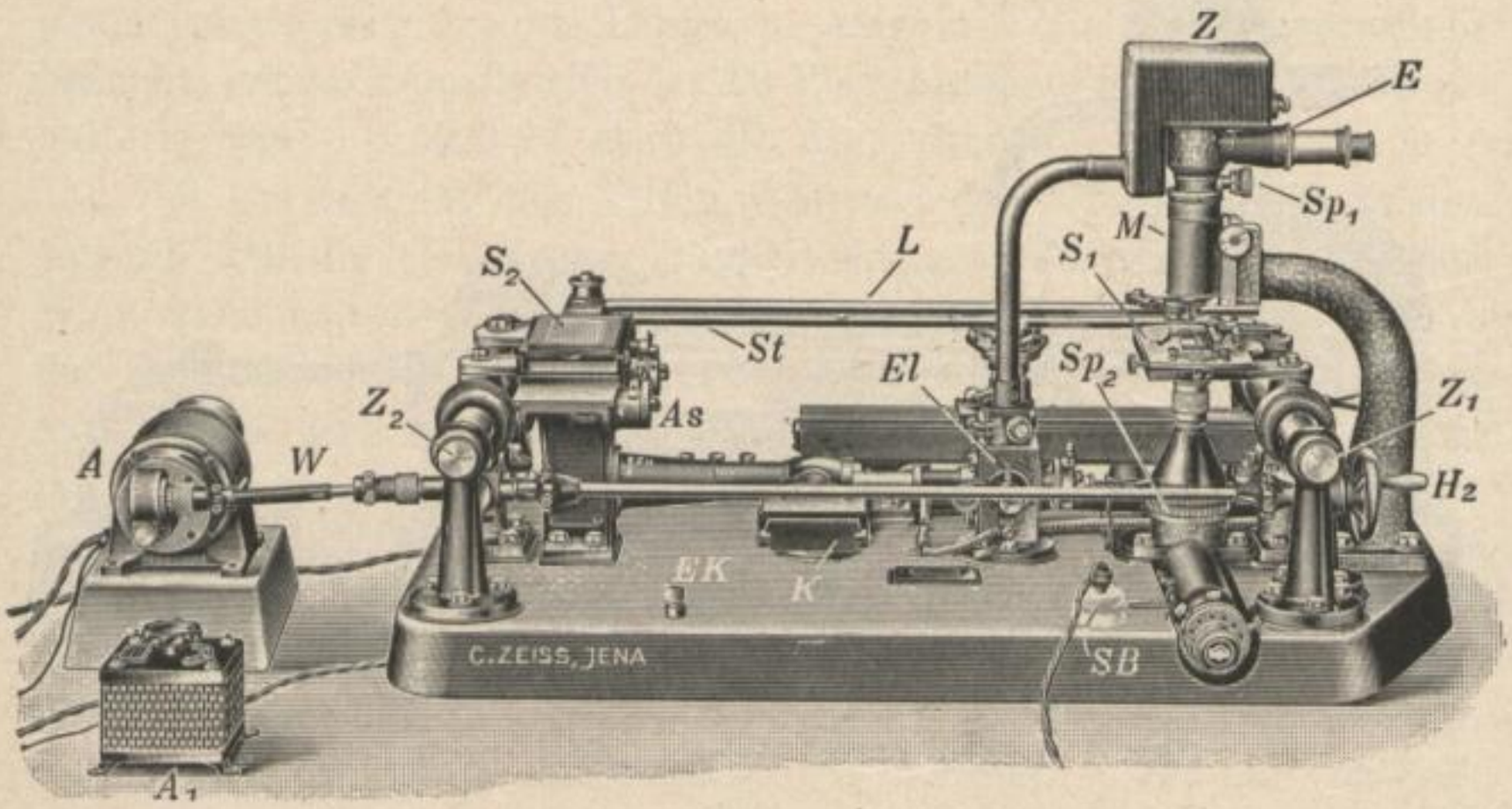


Abb. 179 a. Zeiß registrierendes lichtelektrisches Photometer.

bündels am Plattenort in der Richtung senkrecht zur Schlittenbewegung bis auf 15 mm, in der Photometrierrichtung bis herab zu 0,001 mm gebracht werden kann.

Der Elektrometerfaden kann während der Registrierung dauernd auf einer Mattscheibe bequem beobachtet werden. Auf die Abbildung des Elektrometerfadens wurde besondere Sorgfalt verwandt, da es für die Auswertung der Platten wichtig ist, über die ganze Breite der Registrierplatte von 90 mm ein scharfes und möglichst schmales Bild des Fadens zu erhalten. Die Lampe zur Beleuchtung des Fadens ist im Elektrometer angebracht. Sie braucht nur etwa 3 Volt und 0,3 Amp. und kann an die Batterie zur Speisung der Hauptlampe

angeschlossen werden. Auch hier ist die Lichtstärke der optischen Teile so bemessen, daß bei der normalen Registriergeschwindigkeit und Verwendung von unempfindlichen photomechanischen Trockenplatten die Beleuchtungslampe nicht mit der vollen Spannung zu brennen braucht.

Zur Aufnahme der Registrierplatte dient eine handelsübliche Anlegekassette 9×18 cm. Das Auswechseln der Platte und der Betrieb des ganzen Instrumentes erfolgt bei Tageslicht.

Der Antrieb der Zeißschen Registrierphotometers erfolgt durch einen kleinen getrennt aufgestellten Elektromotor A, dessen Kraft durch eine langsam laufende Welle W mit doppelten Kardangelenken erschütterungsfrei übertragen wird. Der durch eine Transportspindel Ts (vergleiche die rechte obere Abbildung) angetriebene Registrierschlitten S_2 ist mit automatischen Ausschaltern As versehen, welche an den beiden Endstellungen wirken. Will man das Photometer mit dem Handrade H_2 bedienen, so muß man mit dem Handschalter Hs durch die elektrische Endkuppelung Ku die Antriebswelle W lösen. Das Registrierphotometer erfordert, ohne den elektrischen Antrieb A, einen kräftigen Tisch mit einer Platte von nur 125×80 cm² Fläche.

Ein selbstregistrierendes Photometer mit photoelektrischer Zelle und automatischer Aufzeichnung auf photographischem Papier konstruierten P. Lambert und D. Chalonge (Compt. Rend. Bd. 294; Sc. et ind. Phot. 1926, S. 145; Elektr. Techn. Z. 1927, Nr. 11; Phot. Ind. 1927. S. 789). Der Strom der Photozelle wird durch eine Elektronenröhre verstärkt. Unsicherheiten, die durch Schwankungen des Heizstromes entstehen, werden durch Verwendung einer schwach geheizten Doppelgitterröhre vermindert. Die Registrierung erfolgt in der üblichen Weise. Der Lichtzeiger des in einem Anodenstromkreis der Verstärkungsröhre liegenden Spiegelgalvanometers zeichnet die Kurve auf der photographischen Schicht auf (Vorgelegt am Pariser Phot. Kongr. 1925).

Als separate Broschüre erschienen:
P. Lambert et D. Chalonge, „Microphotométre enregistreur a cellule photo-electrique construt par Ed. Bouty“ 1926. (Herausgegeben von „Revue Optique Paris“, 3—5 Boulevard Pasteur).

S. auch Banzoni, Duncan und Mathews (Journ. Opt. Soc. Amer. 1925, Bd. 10, S. 157). — Die Kalium-Wasserstoff-Zelle wird von J. O. C. Vick der Registrierung mit Selenzellen vorgezogen (Brit. Phot. Research. Assoc.; Phot. Journ. 1927, S. 324).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

P. H. Harrison konstruierte ein thermo-elektrisches Registrier-Photometer für Schwärzungsmessungen (Journ. Opt. Soc. Amer. 1925. Bd. 10. S. 157).

F. C. Toy Photoelektr. Photometer zur Messung photogr. Dichten (Brit. Phot. Research Labor. — Science et Ind. Phot. 1928. S. 6); Benutzung einer photogr.-elektr. Zelle mit Wasserstoff und Kalium.

Ein neues registrierendes Photodensitometer beschreibt Elmer A. Harrington (Jour. Optic. Soc. Amer. März 1928. Band 16, S. 211); speziell zur Messung von Spektral-Photographien.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ZWEIUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

SENSITOMETRIE DER LICHTHOFBILDUNG, IRRADIATION, BILDSCHÄRFE UND DES AUFLÖSUNGSVERMÖGENS.

I. Untersuchung der Lichthofbildung.

Bei reichlich belichteten Photographien von hellen Gegenständen auf dunklem Grunde bemerkt man eine Verbreiterung der Lichter in die sie umgebenden dunkleren Partien, die verschiedene Formen annehmen, verschiedene Ursachen haben, aber summarisch „Lichthof“ oder „Halation“ oder „Irradiation“ genannt werden (französisch „Aureole“).

Wenn wir von den Fehlern schlecht korrigierter Linsen (photographischer Objektive) absehen, so kann man die Lichthöfe in zwei Gruppen einteilen:

1. Diffusions-Lichthöfe, die durch innere seitliche Lichtzerstreuung des trüben Mediums der Bromsilbergelatine usw. entstehen. Man bezeichnet sie als „Irradiation“ im engeren Sinne des Wortes. Sie treten um so stärker auf, je größer die Trübung (Turbidität) der Emulsion ist, und werden in sehr transparenten, feinkörnigen Schichten gering. Die Diffusionslichthöfe bewirken eine seitliche Verbreiterung schmaler Lichtlinien im Negativ, beeinträchtigen die Schärfe und das Auflösungsvermögen der photographischen Schichten und hängen mit dem Gamma der Emulsion, der Entwicklung und der Belichtungsdauer zusammen.

2. Die Reflexionslichthöfe entstehen durch Reflexion des Lichtes von der Glasplattenrückseite, sind die weitaus stärksten und ausgedehntesten Lichthöfe und können durch Hinterkleidung der Platten oder Anbringung inaktinischer Zwischenschichten zwischen Emulsionsschicht und Glas oder innerhalb der Schicht verhindert werden, was in der Fabrikation der Trockenplatten berücksichtigt wird (s. dieses Handbuch III, 2). Beide Arten kann man sensitometrisch näher erfassen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1. Der Diffusionslichthof schließt sich unmittelbar an eine Lichtlinie oder einen Lichtpunkt an, nimmt nach außen zu rasch ab (abhängig von der Trübung) und seine Ausdehnung ist verhältnismäßig gering.

Die Entstehung dieser Art des Lichthofes wird durch die innere Reflexion des einfallenden Lichtes an den Partikelchen, Körnchen und Kriställchen des trüben Mediums der Schichte hervorgerufen, wie in einer Darstellung von Mees und Rawson[1]) deutlich gezeigt wird. Abb. 180 macht die Irradiation des Diffusionslichthofes innerhalb der Emulsion seitlich von einem einfallenden hellen Lichtbündel ersichtlich. Hierbei wirkt die beleuchtete Bromsilberemulsion gewissermaßen wie ein selbstleuchtender Lichtpunkt und zerstreut das Licht ringsum. Bei sehr starker Belichtung treten dann Verbreiterungen des Lichtbildes auf.

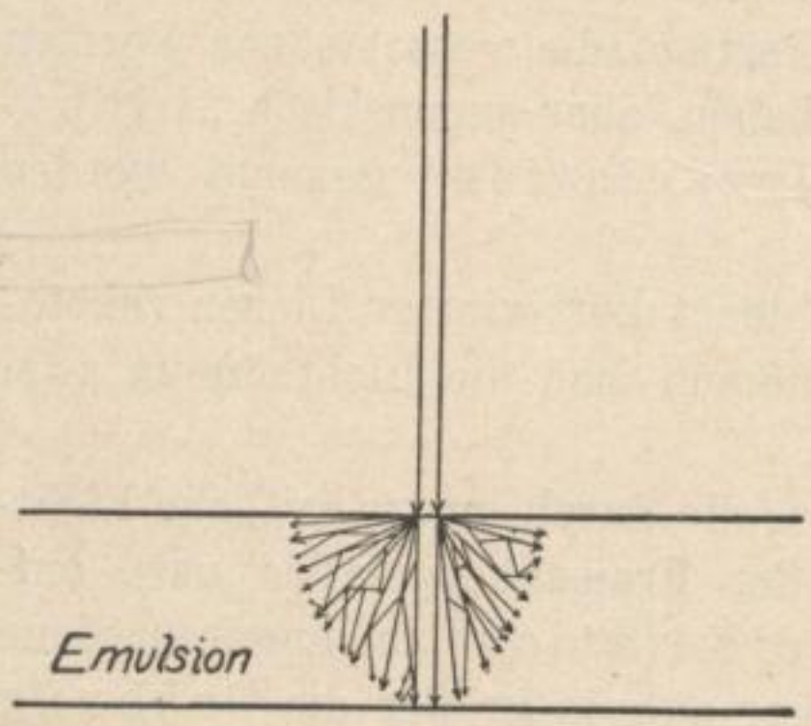


Abb. 180.

Der Diffusionslichthof beruht also auf der Lichtzerstreuung in der photographischen Emulsion als trübes Medium. Die Frage der Intensitätsverteilung im Diffusionslichthof auf Grund optisch-physikalischer Berechnungen erörtert besonders gründlich Rupert Wildt in seinen „Untersuchungen über den photographischen Diffusionslichthof“ (Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928, Bd. 25, S. 153).

Unter anderem bestätigt er die Angaben von Ross, daß die Steilheit der Durchmesserkurven der Diffusionslichthöfe mit wachsender Wellenlänge zunimmt (s. Sandvik, S. 528), worauf auch die von Goldberg gefundene Zunahme des Trübungsfaktors bei sehr hohen Expositionen zurückzuführen ist, weil hierbei die sonst wenig wirksamen grünen und roten Strahlen mitspielen.

In der Regel nimmt man an, daß die Stärke der Diffusionslichthöfe (Irradiation) mit der Feinheit des Plattenkornes abnimmt; es zeigte jedoch Mees (Brit. Jour. Phot. 1918, S. 237; Phot. Ind. 1919, S. 76), daß sog. photomechanische Platten mittlerer Korngröße

1) Mees und Rawson, „Der optische Mechanismus der Lichthofbildung“, Phot. Indust. 1919, S. 76 nach Brit. Journ. of Phot. — Eders Jahrb. 1915/20, S. 219.

die geringste Irradiation aufweisen und daß die Strahlenbrechung in den feinkörnigen Diapositivplatten größer ist als in mehr grobkörnigen; in ersteren ist die Lichtzerstreuung nahezu konstant, in grobkörnigen nimmt sie mit der Durchdringung der Schichte zu. Bei hochempfindlichen Emulsionen besitzt die Schichtdichte wenig Einfluß auf die Irradiation, bei wenig empfindlichen ist sie um so geringer, je dünner die Schicht ist.

Nach F. F. Renwick geht die seitliche Lichtzerstreuung selten über 0,122 bis 0,25 mm der Bildgrenze hinaus.

Die Verbreiterung und der allmähliche Verlauf der Diffusionslichthöfe kann mittels des Kochschen selbstregistrierenden Mikrophotometers (s. S. 496) genau gemessen werden.

Mit der seitlichen Diffusion hängt das Auflösungsvermögen einer photographischen Platte eng zusammen (s. S. 519).

Die Schwärzung der Diffusions-Lichthöfe nimmt nach außen zu rasch ab, ihre Ausdehnung ist relativ gering, sie geht ohne scharfe Abgrenzung in das primär belichtete Feld im steilen Intensitätsabfall (abhängig von Gamma und dem Transmissionsfaktor der Schichte) über, und zwar (nach Scheffer) proportional dem Exponenten der Belichtung. Zieht man eine Tangente (A) an alle durch Diffusion verbreiterten Kreise und eine Tangente (B) an die primär beleuchteten gleichgroßen Kreisfelder, wie Abb. 181 angiebt, so ist der Winkel a, den die Tangente A mit der Tangente B bildet nach Scheffer ein Maß für das Zunehmen des Diffusionslichthofes. Wenn der Winkel a gleich Null wird, so ist das Auflösungsvermögen der Platte unabhängig von der Belichtung, aber dies wäre nur der Fall, wenn die Schicht keine Turbidität (Trübung) zeigen würde. Den Diffusionslichthof sieht man gelegentlich sehr gut, wenn man die Sensitometeraufnahme (Plattenfelder z. B. eines Röhrenphotometers) von der Glasseite betrachtet; die primär belichteten Felder erscheinen heller als der sie umgebende Lichthof und sind scharf von ihm abgegrenzt. Natürlich müssen die Platten für solche Versuche von dem Reflexionslichthof befreit werden (Hinterkleiden der photographischen Platte).

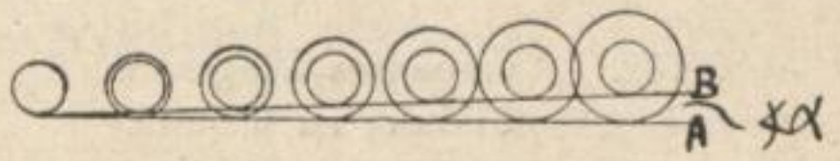


Abb. 181.

2. Reflexionslichthöfe. Den Gang der Lichtstrahlen bei der Entstehung von Reflexionslichthöfen macht Mees in der Zeichnung Abb. 182 klar ersichtlich. (The fundamentals in Phot. 1920, S. 99.)

Fällt ein Lichtbündel auf die Schichte einer Bromsilbergelatineplatte und tritt in die trübe Emulsionsschichte ein, so wird es zerstreut (Irradiation), so daß wir das Bild eines Lichtscheibchens erhalten; dann dringt das zerstreute Licht bis zur Glasunterlage der photographischen Platte; die Strahlen nächst der Mitte durchdringen

das Glas und treten in die freie Luft; dort entsteht kein Lichthof, aber die schräger einfallenden Strahlen werden reflektiert, am stärksten im Winkel der totalen Reflexion und haben ein Maximum des Lichthofes um den zentralen Lichtpunkt (Scheibchen), dann wird der Lichthof immer schwächer und verliert sich allmählich. Auf diese Weise kommen die häufig zu sehenden ringförmigen Lichthöfe zustande (Abb. 182).

3. Formulierung der Reflexionslichthöfe.

Die Entstehung der Reflexionslichthöfe wurde wiederholt beschrieben und zwar zuerst insbesondere klar von Cornu[1]), der auch die Methode zur Bestimmung der Radien der Lichthöfe formulierte zustande (Abb. 184).

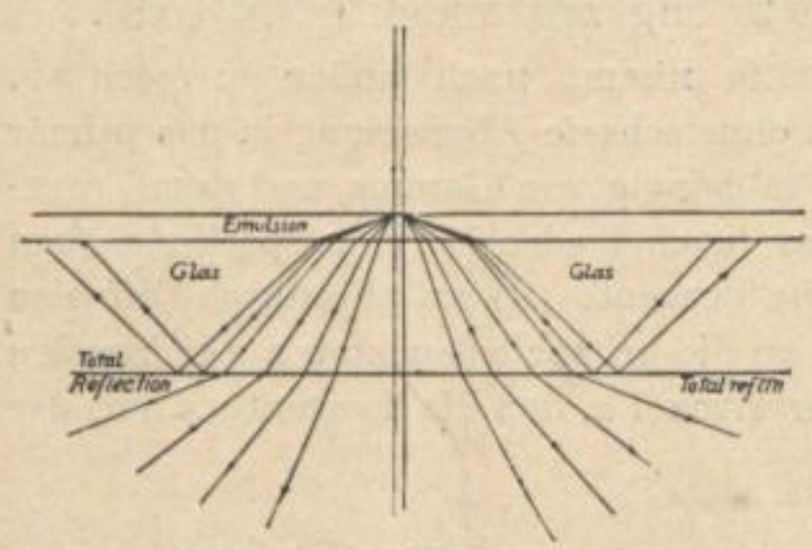


Abb. 182. Komplettes Diagramm der Lichthofbildung nach Mees.

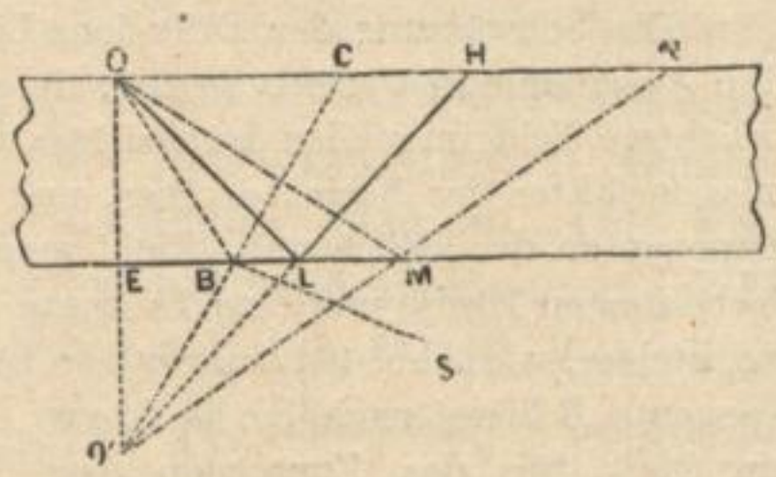


Abb. 183. Entstehung von Reflexions-Lichthöfen.

Der beleuchtete Punkt O der trüben photographischen Schichte $OCHN$, welche auf Glas aufgetragen ist, wirkt wie eine selbstleuchtende Lichtquelle, welche nach allen Seiten Licht ausstrahlt; alle im Innern der Platte ausgehenden Strahlen erreichen die zweite Oberfläche $EBLM$ und werden an derselben reflektiert, und zwar werden diejenigen, welche wie OB innerhalb des Grenzwinkels EOL liegen, nur sehr schwache Reflexionsstrahlen BC liefern, da sie ja den austretenden Strahlen BS entsprechen, welche den größten Teil der Lichtstärke mitnehmen; die anderen, wie OM, außerhalb der Grenzwinkel gelegenen Strahlen jedoch werden äußerst kräftige reflektierte Strahlen erzeugen, da sie bei der totalen Reflexion, welche sie erfahren, an ihrer Intensität keinen Verlust erleiden.

---

1) Cornu, Bull. Soc. franç. Phot. 1879, S. 136 u. 225. — Eders Jahrb. f. Phot. 1892, S. 57. Ferner findet man weitere Einzelheiten in Cornus Abhandlung in den „Comptes rendus". Bd. 110, S. 551.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Alle diese reflektierten Strahlen beleuchten die innere Fläche der diffundierenden Schicht und rufen auf derselben zwei aneinander grenzende Gebiete von ungleicher Lichtstärke hervor, deren Grenze sich leicht bestimmen läßt. Diese Strahlen gehen nämlich sämtlich von dem Punkte O', dem virtuellen Bilde der Lichtquelle, der mit dem Punkte O zur Oberfläche der Glasplatte symmetrisch liegt, aus. Die nicht total reflektierten Strahlen nun liegen innerhalb des Umdrehungskegels, der die Senkrechte $O'E$ zur Achse, O zur Spitze und an der Spitze einen Winkel hat, der doppelt so groß als der Grenzwinkel $EO'L = EOL$ ist; diese Strahlen liefern ein wenig beleuchtetes Gebiet, das von dem Kreise begrenzt ist, welcher dadurch entsteht, daß der erwähnte Kegel von der diffundierenden Ebene senkrecht geschnitten wird.

Die total reflektierten Strahlen, welche außerhalb dieses Kegels liegen, bilden dagegen ein stark leuchtendes Gebiet, welches bei der Peripherie des erwähnten Kreises scharf begrenzt anhebt und nach außen hin unbegrenzt ist. Man erkennt darin leicht den oben beschriebenen Lichthof.

Der Radius $g = OH$ des Lichthofes ist derjenige des Grundkreises des oben beschriebenen Kegels. Ist $R = OO'L$ der Grenzwinkel, so daß $n \sin R = 1$ ist, wo n den Brechungsexponenten zwischen Luft und Glas bezeichnet, so folgt, daß, wenn man die Dicke des Glases mit e bezeichnet,

$$g = 2e \text{ tang } R \text{ oder } g = \frac{2e}{\sqrt{n^2-1}} \text{ ist.}$$

Der Durchmesser des Lichthofes ist also der Dicke des Glases proportional, er nimmt mit der Brechbarkeit des benutzten Lichtes ab, da mit derselben n zunimmt. Da der mittlere Berechnungsexponent für Glas ungefähr $n = \frac{3}{2}$ ist, findet man $2g = e \cdot 8 : \sqrt{5} = 3{,}578\, e$; es ergibt sich daraus also, daß der mittlere Durchmesser des Lichthofes ein wenig kleiner als das Vierfache der Plattenstärke ist, so daß dieses Rechnungsresultat dem Versuche vollständig entspricht.

Die Abnahme der Lichtintensität des Lichthofes nach außen hin läßt sich ebenfalls leicht erklären. Betrachtet man die Beleuchtung von verschiedenen Punkten N, deren Entfernung von dem Lichtzentrum O immer größer wird, so muß dieselbe aus zwei Gründen immer mehr abnehmen, indem nämlich einmal die virtuelle Lichtquelle O' in eine immer größere Entfernung rückt und andererseits

die von ihr ankommenden Strahlen immer schräger auf die diffundierende Fläche NO auffallen.

Aus diesen Versuchen geht klar hervor: die Ursache der Erscheinung ist die Reflexion des durch die vordere Fläche der Platte diffundierten Lichtes an der hinteren Fläche.

Ist eine sehr kräftig beleuchtete Partie und ein daran anstoßendes dunkles Gebiet gegeben, so treten die Lichthöfe besonders deutlich auf.

4. Prüfung einer photographischen Platte auf Reflexionslichthöfe.

Punktförmige Lichter auf schwarzem Grund geben getrennte Reflexions-Lichthöfe, wie Abb. 184 ersichtlich macht. Um solche ringförmige Lichthöfe hervorzurufen und andererseits Platten auf ihre Lichthoffreiheit zu prüfen, legt man auf die Platte ein Blatt durchlöchertes schwarzes Papier (oder Stanniol) und belichtet mit einer sehr weit entfernten starken Lichtquelle progressiv. Abb. 184 zeigt die Lichthofbildung auf einer Bromsilbergelatineplatte, die zur Hälfte durch Bestreichen der Glasrückseite mit Druckerschwärze oder dem Cornuschem Gemisch von 6 Vol. Nelkenöl und 1 Vol. Terpentinöl (gleicher Brechungsindex wie Glas) bestrichen und dadurch lichthoffrei gemacht wurde.

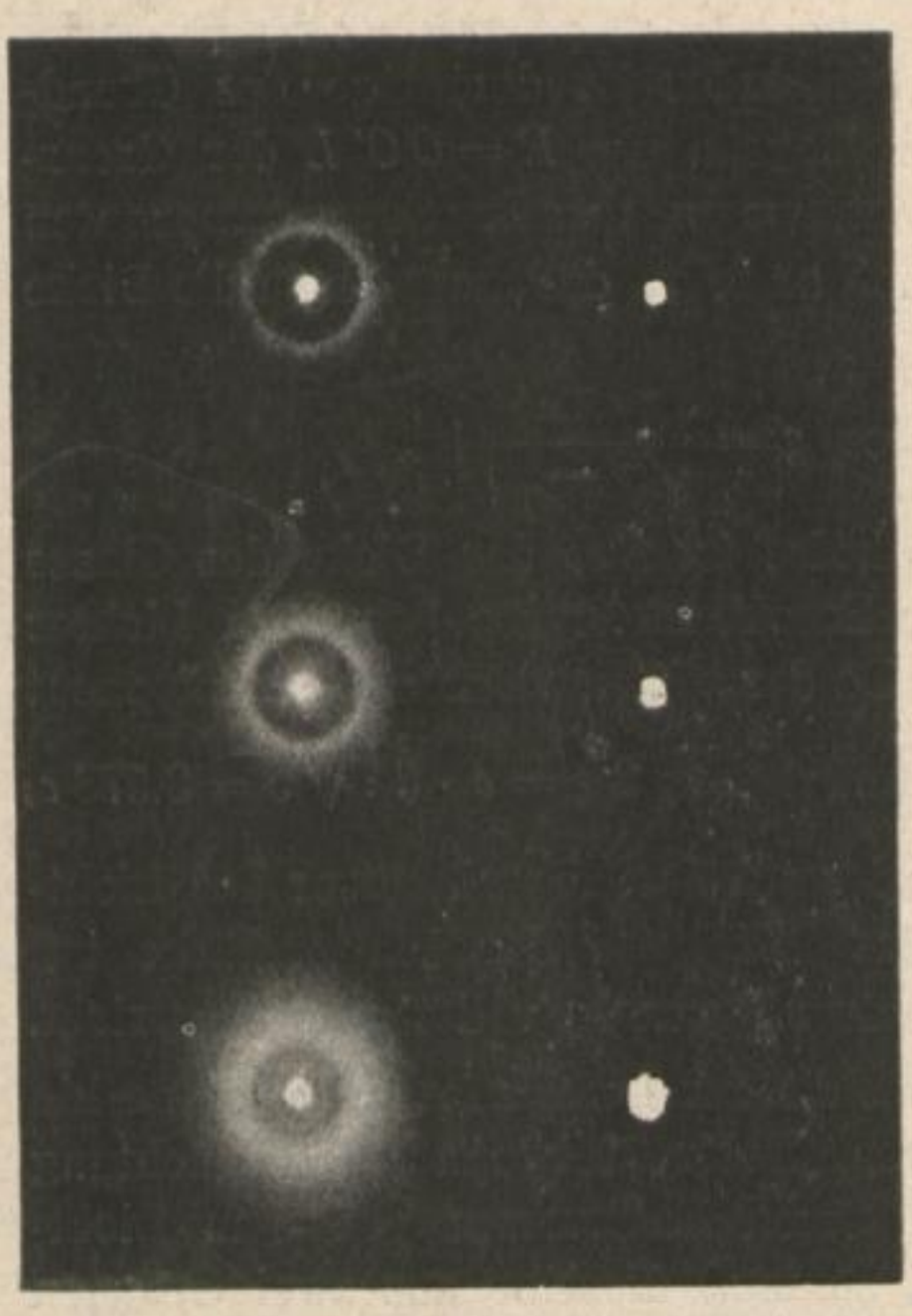


Abb. 184. Bildung von Lichthöfen und deren Vermeidung.

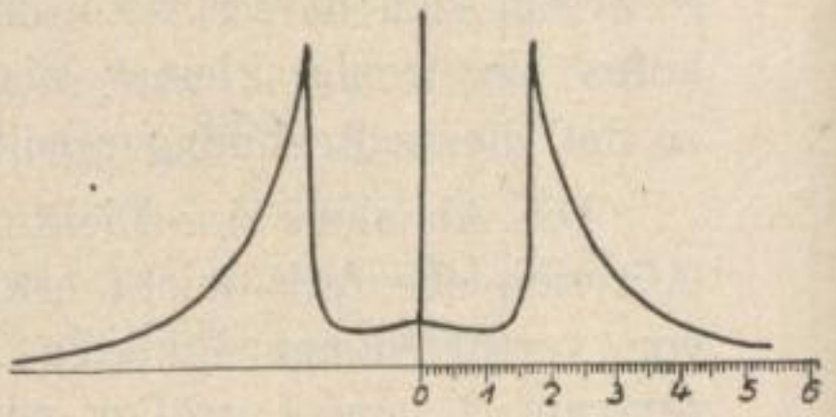


Abb. 184a. Intefisitätskurve des Lichthofes.

SLUB Dresden

Der durch Spiegelung des Lichtes auf der Rückseite der Platte entstehende Lichthof zeigt die in Abb. 184a wiedergegebene Intensitätskurve [1]).

Die Zeitdauer der Entwicklung und die Gradation der Platten sind von Einfluß für die Lichthofbildung, wie Scheffer [1]) in Abb. 185 demonstrierte.

Beide Streifen wurden (nach Scheffer) gleichlang belichtet. Der obere wurde reichlich lange ausentwickelt und zeigt enorme Lichthöfe; der untere Streifen wurde nur kurz anentwickelt und zeigt keine Spur eines Reflexions-Lichthofes, der eben tiefer im Inneren der Schicht sitzt.

Wird ein mit Lichthof behaftetes Negativ gebleicht (Chromat + Salzsäure oder Ferrizyankalium + Bromkalium), dann das Oberflächenbild ganz kurz mit einem kräftigen Entwickler neu entwickelt und fixiert, so verschwindet der Lichthof größtenteils (Eder 1903).

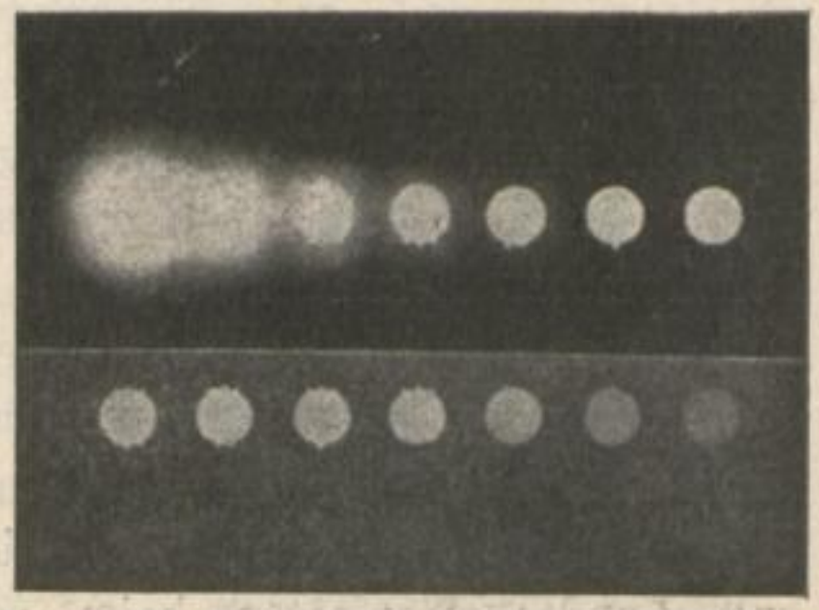


Abb. 185. Der obere Streifen wurde sehr lang, der untere sehr kurz entwickelt.

Goldberg vermeidet (ebenso wie Scheffer lange vorher) das Auftreten der Reflexionslichthöfe durch sehr kurzes und oberflächliches Entwickeln der Negative, welche nach dem Fixieren verstärkt werden (Phot. Rundschau 1917, S. 73).

5. Verschiedene Widerstandskraft von Emulsionen gegen Lichthöfe. — Bestimmung des Schwellenwertes der Reflexionslichthöfe.

Im allgemeinen sind Platten mit einer langen Unter-Expositionszone gut empfänglich für Solarisation, jedoch hängt diese Eigenschaft in hohem Grade von der Herstellungsart der Emulsion und von den Eigenschaften der gemischten Emulsionen ab.

Die Lichthöfe werden durch „Lichthof-Schutzmittel“, die sich in der Fabrikation lichthoffreier Platten auswirken, bekämpft.

---

1) Scheffer, „Über Lichthöfe“ (Eders Jahrb. 1911, S. 295); Drecker (Zeitschr. f. wissensch. Photogr., Bd. 1) gibt die Formeln der Intensitätskurven der Lichthöfe.

Die Widerstandsfähigkeit der Platten gegen Lichthofbildung (englisch „Halo Resistance“) ist variabel und kann sensitometrisch gemessen werden. Man kann angeben, bei wie vielfacher Beleuchtung über den Schwellenwert eine gewisse Platte einen beginnenden Lichthof zeigt und kann man mit jedem Sensitometer diesen „Schwellenwert des Lichthofes“ als einfaches Maß für die Lichthoffreiheit einer Platte benützen.

Scheffer (Eders Jahrb. 1911, S. 248) bestimmte getrennt den Schwellenwert des Diffusions- und des Reflexionslichthofes von Bromsilbergelatineplatten, welche als „lichthoffrei“ in den Handel kommen.

Man kann den Schwellenwert der Lichthofbildung, wie zuerst Goldberg (Phot. Korresp. 1917, S. 84) angab, mit einem Graukeil-Sensitometer leicht verfolgen.

Die praktische Durchführung mit dem Eder-Hecht-Sensitometer wurde bereits oben erwähnt. Er ergibt sich direkt aus den Sensitometerablesungen und an der Hand der Tabellen (S. 406) findet man den Schwellenwert der Lichthofbildung im Vielfachen des Schwellenwertes der ersten Bildspur des normalen Bildes. Man kann mit hinlänglicher Annäherung annehmen, daß der Schwellenwert des Lichthofes bei den heute gebräuchlichen Porträt- und Landschaftsplatten beim 500fachen normalen Schwellenwert liegt; mit anderen Worten: er tritt dann auf, wenn man 500mal länger belichtet als zur Erzeugung des Schwellenwertes der ersten entwickelbaren Bildspur erforderlich ist. — Die lichthoffreien Platten des Handels (mit inaktinischen roten oder braunen Zwischenschichten, Hinterkleidung mit braunen oder schwarzen Schichten) weisen einen sehr verschiedenartig großen Schutz gegen die Bildung von Reflexionslichthöfen auf. — „Lichthoffreie Platten“ mit einem Schwellenwert des Lichthofes wie 8000 genügen für die gewöhnliche photographische Praxis; Platten mit sehr hohem Lichthofschutz, wie die Isolarplatten, zeigen die Zahl 20 000—50 000; es kommen jedoch auch Platten mit dem geringen Lichthofschwellenwert von 3000—4000 in den Handel, welche nur in engeren Grenzen der Belichtung genügen.

Bei sehr starker Überlichtung kann man das Auftreten von Solarisation im Lichthof beobachten.

Filme zeigen sehr geringe Reflexionslichthöfe und die ganz dünnen Rollfilme sind praktisch fast lichthoffrei. Der Reflexionslichthof ist dann so klein, daß er wie ein kleiner Diffusionslichthof aussieht, aber es bleibt der Ring des Reflexionslichthofes meistens ziemlich deutlich erkennbar.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

J. Rheden bezeichnet den oben definierten Lichthofschwellenwert als Kennzahl der Lichthoffreiheit (Phot. Rundschau 1926, S. 69). Er fand für gewöhnliche Bromsilber-Gelatine-Platten bei einer Reihe von Versuchen etwa = 200, 300 bis 600, bei einzelnen Porträt-Platten etwa 150, mitunter sogar noch kleiner. Dagegen gaben Isolarplatten die Kennzahl über 25000 und 57000, andere lichthoffreie Platten von geringem Schutz aber nur die Kennzahl 1800 bis 4000 usw.

5. Experimentelle Durchführung der Prüfung auf Lichthoffreiheit.

Die Probe auf Lichthoffreiheit mittels kleiner heller Lichtpunkte ist weniger empfindlich, als die mit langen Lichtstreifen. Eder benützt für diese Proben einen Graukeil, mit einem auf Seite 518 abgebildeten durchlaufenden schmalen Streifen.

Zwischen Sensitometer und der photographischen Platte wird dünnes schwarzes Papier oder Stanniol mit einem schmalen langen

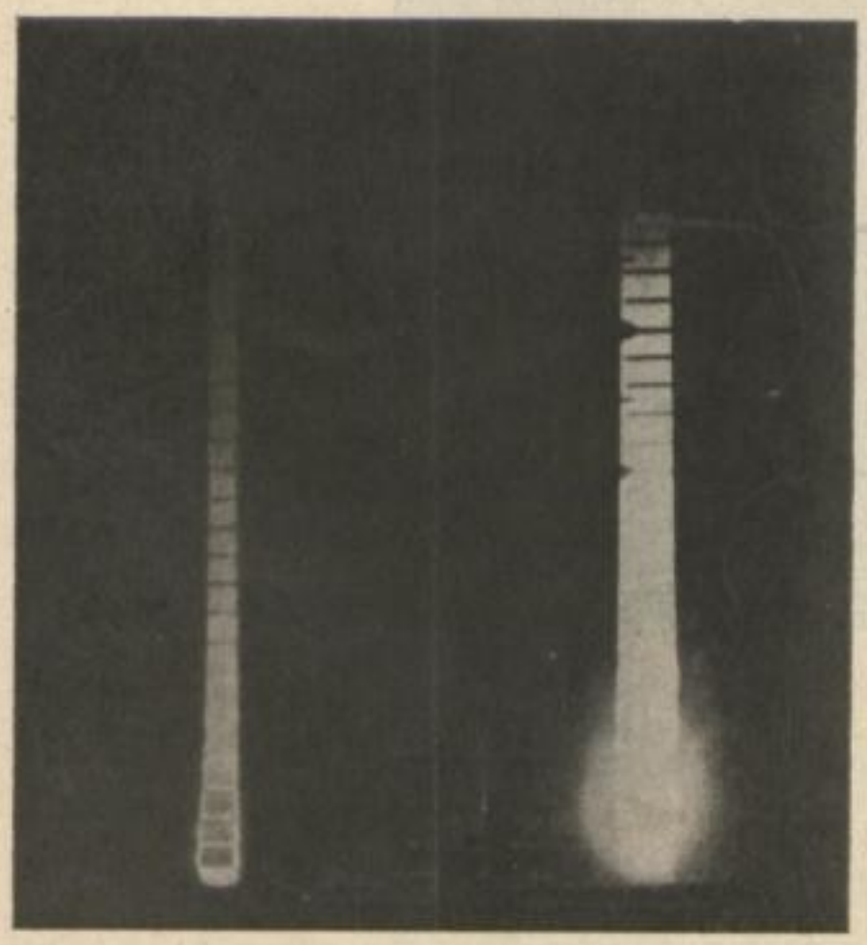


Abb. 186. Geringe Lichthofbildung auf einem Film mit beginnender Solarisation (Beide mit dem Eder-Hecht-Sensitometer).

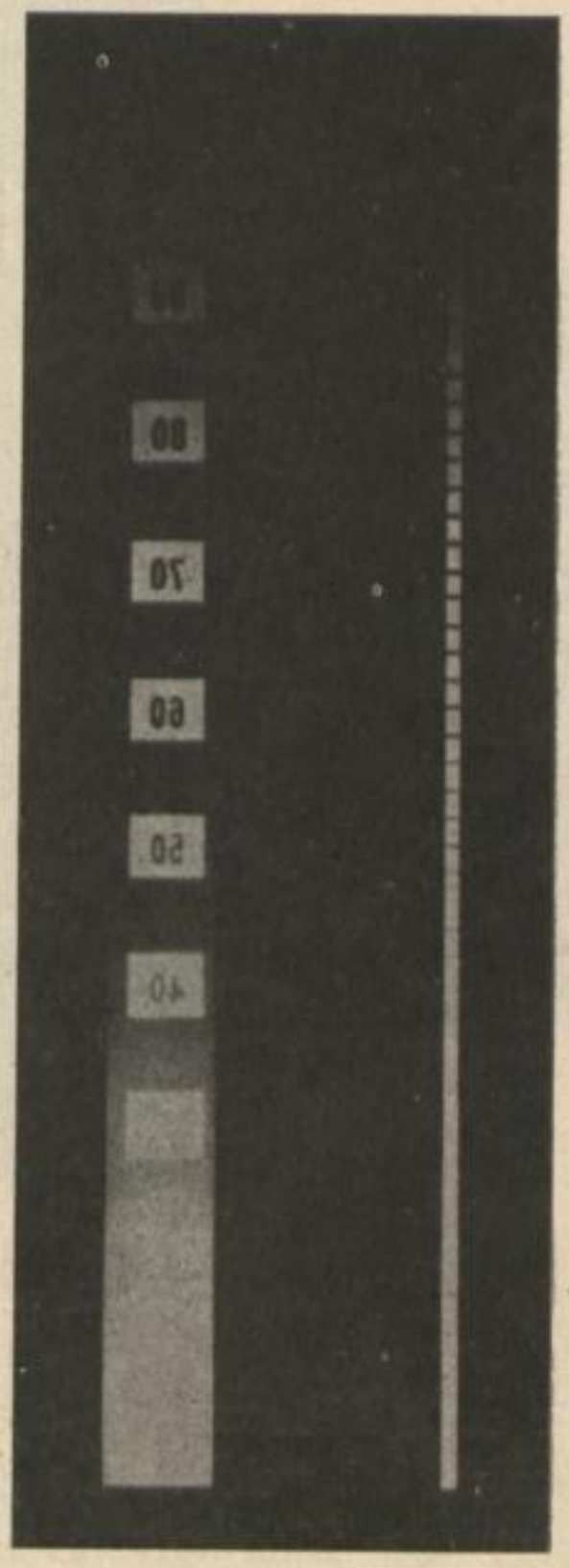


Abb. 187. Größere Lichthofbildung auf Glasplatten.

Abb. 188. Lichthoffreie Platte.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schlitz in der Mitte eingelegt. Es tritt dann die Lichthofbildung hervor (Abb. 186).

Die Belichtung erfolgt mit Magnesiumlicht in geringem Abstande, z. B. 2 mg Magnesiumblättchen in 1 m Distanz vom Sensitometer; zur Erzielung sehr hoher Lichtintensitäten können mehrere Blättchen Magnesium abgebrannt werden. Man liest die Lichtmenge ab, welche

Abb. 189.
Rollfilm.

Abb. 190.
Lichthoffreie Platte.

die erste Bildspur des latenten Bildes sichtbar macht und jene Lichtmenge, bei welcher die Solarisation aufzutreten beginnt (Schwellenwert des Lichthofes); der Quotient gibt die „Kennzahl der Lichthoffreiheit".

Aus den Abbildungen 187 bis 190 ist das Aussehen der Lichthofbildung bei dieser Versuchsanordnung ersichtlich. — Abb. 186 zeigt das Verhalten einer lichthoffreien Platte im Eder-Hecht-Sensitometer hinter Schlitzen im schwarzen Papier.

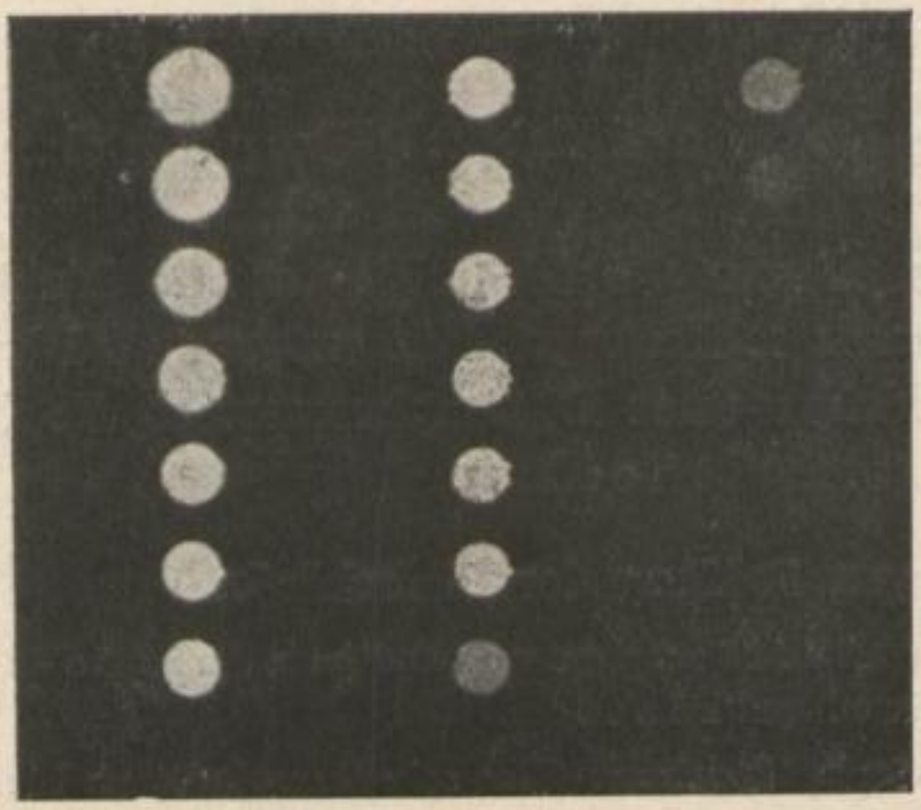


Abb. 191.

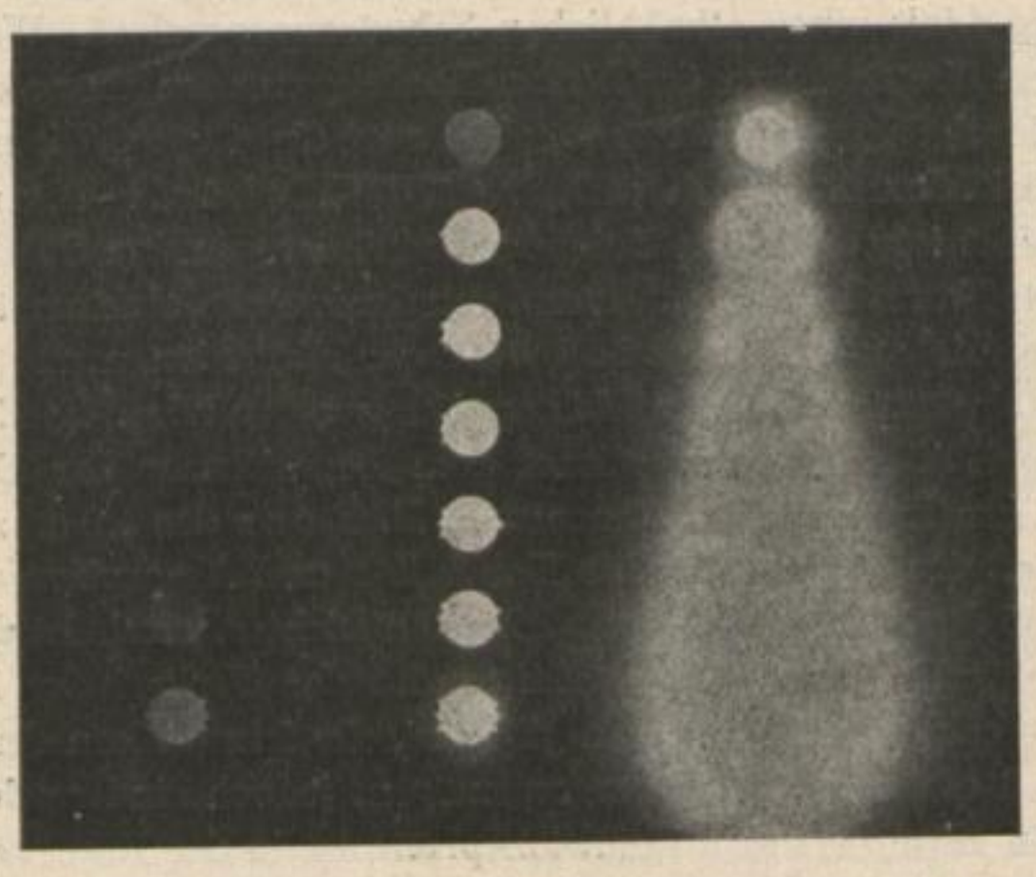


Abb. 192.

Lichthofbildung im Röhrenphotometer.

Abb. 189 zeigt eine Probe mit einem Hauffschen Rollfilm (2 mg Magnesium im Abstand von 25 cm vom E.-H.-Sensitometer); Abb. 188 die ebenso hergestellte Probe mit einer Hauffschen lichthoffreien Platte („Analo-Flavin"). Abb. 186 und 187 zeigt das Verhalten eines Films und einer lichthoffreien Platte in Gegenüberstellung.

Wenn auch die Filme weniger der Lichthofbildung unterliegen, so bemerkt man dennoch in der Filmtechnik, daß an den stark belichteten Stellen Überstrahlungen auftreten und zwar am häufigsten, wenn man unterbelichtete Filme sehr lange entwickelt und demzufolge zu einer steilen Gradation gelangt. Die hellsten Stellen werden demnach besonders dicht und der Lichthof tritt entsprechend in großer Stärke auf. Z. B. kann bei der Dichte 2,5 noch kein Lichthof ersichtlich sein, während er bei der Dichte 4,5 bereits eine beträchtliche Ausdehnung zeigt (L. Lobel, Bull. Soc. franç. 1927, S. 326).

Scheffer[1]) führt seine Proben auf Lichthofbildung mit einem Röhrensensitometer durch, wie Abb. 191 und 192 zeigen.

Bei stärkerer Belichtung pflegen die Lichthöfe um die Lichtscheibchen mehr oder weniger zu schließen und in extremen Fällen nehmen die kreisförmigen Bildchen eines Röhrenphotometers die in Abb. 192 gezeigte Form an (nach Scheffer).

II. Auflösungsvermögen, Prüfung der Bildschärfe.

Allgemeines über das Auflösungsvermögen photographischer Platten.

Das entwickelte Bild hat eine körnige Struktur. Eine scharf geschnittene Linie (Schwarz-Weiß) gibt kein ebensolches Bild, sondern das Negativ zeigt an der Kante der Linie einen allmählichen Schwärzungsverlauf. Wenn die Dichte mit Bezug auf den Abstand von der Linien-Kante gemessen und als Funktion des Abstandes graphisch dargestellt wird, so erhält man eine Kurve, die man nach C. E. Kenneth Mees (Brit. Journ. of Phot. 1929, S. 165) die „Schärfe-Kurve" nennt. Die „Schärfe" selbst ist durch den Neigungswinkel des geraden Stückes dieser Kurve ausgedrückt. Die Form dieser Kurve hängt von der inneren Lichtzerstreuung innerhalb der Emulsion ab, die man „Turbidität" der Emulsion nennt und die durch die Weite des Bildes eines schmalen Lichtspaltes gegeben wird. Die Zunahme der Weite solch eines Spaltbildes ist proportional dem Logarithmus der Exposition und die Konstante dieser Proportionalität nennt F. E. Ross das „Astro-Gamma" und es ist ein Maß der Turbidität. Die Turbidität und Absorption einer Emulsion schwankt aber mit der Wellenlänge des wirkenden Lichtes, somit ist die Bildschärfe auch von dieser abhängig. Ein anderer Faktor ist der Verlauf der Schwärzungskurve beim Entwickeln. Im allgemeinen gibt ein sehr feines Korn der Emulsion geringe Turbidität und ein hohes Auflösungsvermögen, jedoch sind auch Ausnahmen davon bekannt. Die Körnung einer Emulsionsplatte ist in der Regel sehr inhomogen: 1. in den einzelnen Silberkörnern, 2. in der Zusammenballung dieser Körner zu Klumpen und 3. in der Agglomeration dieser Klumpen. Die Körnung schwankt sehr mit der Dichte der Schwärzung des entwickelten Bildes und erreicht ein Maximum bei der verhältnismäßig geringen Dichte 0,4.

Die Bildschärfe und das damit zusammenhängende Auflösungsvermögen einer photographischen Platte ist somit nicht durch eine fixe Konstante des Photomaterials zu bestimmen, sondern schwankt mit der Exposition und der Entwicklung, wobei die Penetration des Lichtes in die sensible Schichte, der Entwicklungsfaktor und die Körnigkeit eine Rolle spielen. Man pflegt das Auflösungsvermögen einer

[1]) S. Seite 515, Fußnote.

photographischen Platte praktisch durch Photographieren von geeigneten Liniensystemen zu prüfen.

Zur Prüfung der Bildschärfe der Negative bedient man sich einer Lupe (Einstellupe), die man auf die Schichte aufsetzt und gegen eine helle Fläche (Himmelslicht, eine von rückwärts beleuchtete Opalplatte usw.) betrachtet. — Filmnegative, welche besonders scharf sein müssen, untersucht man mit einer mindestens sechsfach vergrößernden Lupe. — In ähnlicher Weise prüft der Reproduktionsphotograph die Schärfe seiner Rasternegative [1]). Der Begriff der Bildschärfe kann aber mittels sensitometrischer Messungen weit genauer präzisiert werden, als diese empirische oberflächliche Prüfungsmethode es gestattet. — Zunächst muß man sich darüber klar werden, daß sich die Schärfe des photographischen Bildes einer scharf begrenzten hellen Lichtlinie in einem photographischen Negativ als ebenso scharfer schwarzer Strich ergeben soll. — Prüft man aber die Ränder eines solchen Striches im Negativ mit dem Mikroskop oder besser mit dem Kochschen registrierenden Mikrophotometer (s. S. 510), so zeigt sich zufolge der Körnung der Rand keineswegs scharf geschnitten. — Es treten ferner in Abhängigkeit von der Belichtungszeit, der Entwicklungsdauer und Art der sensiblen Schichte mitunter mehr oder weniger bedeutende Verbreiterungen der schwarzen Striche am Negativ auf; liegen zwei solche Linien sehr nahe nebeneinander, so können diese Verbreiterungen der Ränder einander berühren und die Striche erscheinen dann nicht mehr getrennt, oder, wie man zu sagen pflegt, „sie werden im Negativ nicht aufgelöst“.

Bei der Herstellung von scharfen Strichreproduktionen soll man zunächst bei der Verwendung von Bromsilbergelatineplatten durch Hinterkleidung die großen Reflexionslichthöfe ausschalten. — Deshalb werden auch häufig die „photomechanischen Platten“ englischer Fabrikanten u. a. mit einem solchen Lichthofschutz (brauner Anstrich) auf der Rückseite versehen.

Nach der Beseitigung der Reflexionslichthöfe bleiben dann noch in der photographischen Schichte die mehr oder weniger starken Phänomene der Diffusionslichthöfe übrig, welche eine seitliche intermolekulare Lichtzerstreuung und damit eine seitliche Verbreitung der Linien bewirken.

---

1) J. M. Eder und A. Hay, „Die theoretischen und praktischen Grundlagen der Autotypie“, 1928 (Bd. II. 4. von Eders Ausführlichem Handbuch der Photogr.).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Da diese Irradiation innerhalb der Schichte in der Regel in hohem Grade durch die Trübheit (Turbidität) der Emulsion bewirkt wird und das Auflösungsvermögen von dieser beeinflußt, da ferner hierbei die Korngröße des Bromsilbers damit im Zusammenhange steht, so nimmt man gewöhnlich an, daß Auflösungsvermögen einer photographischen Platte eine Funktion des Kornes der Negativschicht ist. Im allgemeinen vermindert (s. S. 510) sich das Auflösungsvermögen einer Emulsion mit dem Wachsen des Bromsilberkornes, weil mehr Licht zur seitlichen Reflexion kommt. Nur wenn das Korn ungemein fein ist, könnte nach K. Huse die Auflösung durch die Refraktion des Lichtes an den Rändern des Kornes beeinflußt werden (vgl. Seite 520).

E. Goldberg stellte fest (Zeitschr. f. wiss. Photogr. 1913, S. 92), daß bei der Bestimmung des Auflösungsvermögens zwei voneinander unabhängige Eigenschaften unterschieden werden müssen, der Trübungsfaktor, der als Maß der optischen Trübung der empfindlichen Emulsion angesehen werden kann, und dann die Auflösungsgrenze, die von dem Grad der Verschiedenheit in der Lichtempfindlichkeit von einzelnen Körnern der Bromsilbergelatineemulsion abhängt. — Es wurden Methoden zur zahlenmäßigen Bestimmung des Trübungsfaktors und zur relativen Ermittlung der Auflösungsgrenze ausgearbeitet.

F. E. Ross[1]) untersuchte die Ursachen der Schärfe und des Auflösungsvermögens photographischer Platten (Astrophys. Journ. 1920, Bd. 52, S. 201; Abr. Sc. Publ. Eastman Nr. 90) und fand, daß man zwei verschiedene Faktoren berücksichtigen müsse: 1. den Schärfe-Faktor, 2. den Korn-Faktor photographischer Platten. Er betrachtet die Wirkung von einem Paar paralleler Linienbilder (*aa* und *a′a′*) auf die photographische Platte von gleicher Weite, getrennt durch einen Zwischenraum w = der Weite der Linien. Er definiert die auflösende Kraft als die Zahl der Linien pro Millimeter, welche gerade aufgelöst werden, durch die Formel

$$R = \frac{1000}{2\,w},$$

wobei der Wert w in Mikrons ausgedrückt ist. Es ist unmöglich für R physikalische Daten allein zu benützen, man kann annehmen, daß für die Auflösung ein gewisser Kontrast zwischen der Hellig-

1) Vgl. F. E. Ross, „The physics of the developed photogr. image". Monographs on the theory of Photography. Research Laborat. of Eastman Kodak. Nr. 5

keit der Linienbilder *aa* und dem Zentrum des trennenden Zwischenraumes *b* von Einfluß ist, oder der dazugehörigen Dichte der photographischen Niederschläge. Bezeichnet man die Differenz der Dichte zwischen den trennenden Zwischenraum im photographischen Bilde mit Delta (Δ), so ist Δ eine Funktion des Durchmessers des Bromsilberkornes (Ross).

Die Bildschärfe muß ebenso wie das Auflösungsvermögen ausgehen von der Verteilung des Lichtes an den Rändern eines Bildes, welches sich nach auswärts verbreitet in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften einer Emulsion, Größe, Dichte und Zahl der Bromsilber-Körner, ihres Reflexions-Vermögens und der Opazität, der Bromsilber-Körner und der Gelatine. — Die Farbe des einfallenden Lichtes ist also in bezug auf die innere Lichtzerstreuung von Einfluß (F. E. Ross, a. a. O. 1920). Die Schärfe des Bildes hängt vom Entwickler in bezug auf das Gamma oder die Kontraste ab. Der Turbiditäts-Faktor k ist bestimmt durch die Größe der Verbreiterung der Bildlinien. Der Kontrast-Faktor ist durch das bekannte Gamma gegeben. — In einem Beispiele, das F. E. Ross gibt, wurde die Bildlinie um 0,0050 bei Verlängerung der Expositionszeit verbreitert und der Zusammenhang der Bildschärfe mit dem Gamma von Ross ermittelt. Ross findet, daß die Schärfe und das Auflösungsvermögen direkt proportional dem Gamma und verkehrt proportional der Turbidität sind. Die Turbidität kann zweierlei Ursachen haben: 1. die innere Zerstreuung innerhalb der Emulsionsschichte, 2. im optischen System bei der Herstellung des photographischen Bildes, jedoch ist bei gut korrigierten photographischen Objektiven diese Fehlerursache annähernd oder gleich Null zu setzen.

Hart arbeitende Platten begünstigen die Maximalschärfe, ebenso orthochromatische und panchromatische Platten mit Gelb- oder Rot-Filtern (F. E. Ross, Abr. Sc. Publ. Eastman 1920, Nr. 90).

Wadsworth hatte im Jahre 1896 (Astrophysic. Jour. Bd. 3, S. 188) die Theorie aufgestellt, daß zwei Linien dann gut aufgelöst werden, wenn ihre zentrale Separation das Vierfache des Durchmessers des Plattenkornes ist, vorausgesetzt, daß die Emulsion nicht das Licht zerstreut. — Orin Tugman fand bei der Überprüfung dieses Satzes (Astrophysic. Jour. 1915, Bd. 42, S. 331), daß er unrichtig ist und daß das Auflösungsvermögen von der stets auftretenden inneren Lichtzerstreuung der Schichte (Irradiation) abhängt und daß es viel kleiner ist als Wadsworths Theorie es verlangt. — Auch F. E. Ross stellt dies fest[1]).

1) F. E. Ross, „Photographie Sharpness and Resolving Power“ (Astrophys. Jour. 1920, Bd. 52, S. 201; Abr. Sc. Publ. Eastman 1920, Nr. 90.)

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Goldberg (Phot. Journ. Nov. 1912) machte behufs Untersuchung der seitlichen Irradiation einer photographischen Platte Kontaktdrucke unter einer mit feinen Löchern durchbohrten Platte und exponierte mit 10, 100 und 100 000fachen Exposition des Schwellenwertes, unter Bestimmung der seitlichen Zerstreuung des Lichtbildes. Er bringt die Diffusion mit der „Turbidität“ in Zusammenhang und folgert:

$$\text{Der Schärfefaktor} = \frac{\text{Entwicklungsfaktor}}{\text{Turbiditätsfaktor.}}$$

Mees und Scheiner gaben an, daß die „Turbidität“ konstant sei, während sie nach Goldberg mit verlängerter Exposition wächst.

Über die Messung der Turbidität im Zusammenhange mit der Korngröße, sog. „Turbidimetrie“ stellte F. F. Renwick Versuche an (Phot. Journ. 1927, S. 185). Unter anderem fand er, daß das Verhältnis der nassen zur trockenen Turbidität von Bromsilberemulsionen bei hochempfindlichen Emulsionen wie 1 : 1,38 bis 1,34 ist, bei weniger empfindlichen etwa wie 1,10 bis 1,20, bei sehr wenig empfindlicher Emulsion 1,90, bei Diapositivemulsion wie 1 : 0,61.

Zum Studium des Auflösungsvermögens einer photographischen Platte [1]) bedient man sich verschiedenartiger teils konvergenter, teils verschieden weit voneinander entfernter paralleler Linien, die in starker Verkleinerung mit einem fehlerfreien Objektiv auf der zu prüfenden Fläche photographiert werden. — Man pflegt mit einem Mikroskop die Zahl der pro mm aufgelösten Linien zu bestimmen.

Zum Zwecke der praktischen Prüfung des Auflösungsvermögens photographischer Platten werden verschiedene genau charakterisierte Zeichnungen als Testobjekte benützt, z. B. Gitter von parallelen [1]) oder konvergenten schwarzen Linien auf weißem Papier oder ein Diapositivnetz.

Mees benützte ein fächerförmig (10 Grade) gezeichnetes Testobjekt mit feinen Linien, das er verkleinert auf der zu prüfenden Platte photographierte und das Negativ mit einem Mikrometer-

---

1) s. F. E. Ross, The Physics of the developed phot. Image. (Monographie Nr. 5 des Research Labor. of Eastman Kodak Companie; er bedient sich einer Sektoren-Lineatur. — Mees 1915 benutzte als Testobjekt eine Serie paralleler Linien in verschiedenen Abständen; das Auflösungsvermögen wird definiert als jene Zahl der Linien pro mm, die getrennt werden.

2) P. Simon prüft das Auflösungsvermögen photogr. Platten mit einem schwarzen oder transparenten Gitter, dessen parallele Linien voneinander durch weiße oder transparente Linien getrennt sind (Revue franç. Phot. 15. Juli 1925; Kinotechnik, 1927, S. 460).

Mikroskop untersuchte, wie weit die Linien vom Ursprung an aufgelöst sind (Proc. Roy. Soc. (A), Bd. Nr. 83, 1909, S. 10).

Kenneth Huse bestimmte mit einem ähnlichen Testobjekt den Einfluß spezifischer Faktoren, wie Exposition, Entwicklung und Wellenlänge des Lichtes auf das photographische Auflösungsvermögen (Journ. Optic. Soc. Amer. Bd. I. S. 119; Abridg. Scient. Public. Eastman-Kodak. Bd. 3. 1917/18. Nr. 61.) Er bediente sich bei seinen Untersuchungen des in Tafel VIII, Abb. B abgebildeten Testobjektes, das aus einem konvergenten Liniensystem besteht (Winkel 1,5 Grad).

Diese Zeichnung wird mit einer präzisen Verkleinerungskamera in Form einer sehr langen Metallröhre (20 engl. Fuß) und 10 cm Durchmesser, die innen vollkommen geschwärzt ist, photographiert. An dem einen Ende ist eine Wolframfadenlampe mit einem Reflektor und ein Milchglas zur Zerstreuung des Lichtes angebracht und zwecks gleichmäßiger Beleuchtung des dahinter angebrachten Testobjektes ausgestattet. Am andern Ende befindet sich die Kamera, die mit einem höchst korrigierten Objektiv („Fueß telescopic Objektiv") von 15 cm Fokus versehen ist. Das verkleinerte Bildchen ist nur 1 mm lang und wird am phot. Negativ mit einem Mikrometer-Mikroskop ausgemessen, um den Abstand der aufgelösten Linien am Negativ von der Spitze zu finden. Ein Wert gleich 50 zeigt an, daß die Platte unter den gegebenen Bedingungen fähig ist, 50 Linien auf den Millimeter (gemessen von Zentrum zu Zentrum) aufzulösen.

Das Auflösungsvermögen ist abhängig von der lichtzerstreuenden Kraft der Emulsion, vom Gamma (den Kontrasten) und der Trübung und diese wird bestimmt durch die Ausdehnung, innerhalb welcher die Lichtzerstreuung wirkt, denn das zerstreute Licht kann nicht weit in einem trüben Mittel wirken. Das Gamma ist bekanntlich von der Entwicklungs-Art und -Zeit abhängig, von der Type der Platte und der Wellenlänge des einfallenden Lichtes. Die Lichtzerstreuung (Irradiation) hängt ab von der Größe des Bromsilberkornes und somit ist die Auflösung eine Funktion der Korngröße. Im allgemeinen nimmt das Auflösungsvermögen ab mit steigender Korngröße; allzukleine Körner (unter der halben Wellenlänge des Lichtes) würden Beugungserscheinungen geben.

Kenneth Huse fand bei seinen Versuchen folgende Werte für das Auflösungsvermögen verschiedener Negativplatten:

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Plattensorte	Empfindlichkeit in Hurter- und Driffield-Zahlen	Auflösungs-vermögen
Albuminplatte	0,01	125
Wratten und Wainwright Reproduktionsplatten	3,0—5,0	81—76
Laternplatten (Diapositivplatten)	6,0	62
Kodak Positiv-Kinofilm	10	42
Porträt-Platten (Seed, Kodak)	150—400	35—39

Als Entwickler diente Pyrogallol.

Scheffer zeigte, daß die Auflösung nicht nur von der Exposition, sondern auch von der Entwicklungszeit abhängt.

Huse führt weiter aus, daß reichliche Exposition und kurze Entwicklung günstig für die Auflösung sind.

Der Einfluß der verschiedenen Entwickler auf das Auflösungsvermögen von feinkörnigen Bromsilbergelatineplatten ist aus einem Beispiele K. Huses ersichtlich:

Entwickler	Maximum-Auflösung	Exposition	Entwicklung
Pyro-Ätznatron	77	4 Sek.	2 Min.
Hydrochinon	64	3 „	2 „
Pyrogallol-Soda	64	3 „	2 „
Metol-Hydrochinon	64	3 „	2 „
Brenzkatechin	62	8 „	2 „
Eisenoxalat	61	2 „	4 „
Hydrochinon-Ätznatron	57	4 „	2 „
Rodinal	49	8 „	2 „

Man ersieht hieraus den großen Einfluß der Art des Entwicklers. Bei normaler Exposition ist die Auflösung nicht die beste, bei sehr kurzer Entwicklung ist aber ein allzu kleines Gamma auch wieder hinderlich einer guten Auflösung; zwischen diesen Grenzen ist sie gleichmäßig.

Die Farbe des Lichtes hat auch einen Einfluß auf das Auflösungsvermögen. Huse fand, daß Diapositivplatten bei blauem Licht bessere Auflösung zeigten als bei grünem oder weißem. Bei orthochromatischen Platten war gleichfalls das grüne Licht (Lichtfilter) das günstigste, ebenso bei panchromatischen Platten.

In allen Fällen ist die Auflösung (nach Huse) in hohem Grade von der Belichtungszeit abhängig und sowohl Unter- als Überexposition (im Sinne der Schwärzungskurve) ist nachteilig.

Es ist also nicht die Plattensorte allein maßgebend, sondern auch ihre photographische Behandlung.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

J. E. Jewell bediente sich zunächst zur Objektivprüfung des in Tafel VIII A. ersichtlichen Testobjektes (Eastman Kodak Scient. Abridg. Publ. Nr. 77, 1919.) Es kann auch zur Plattenprüfung dienen, muß aber beträchtlich verkleinert werden.

Auch E. Demichel bediente sich 1925 eines Testobjektes, das aus einer Anzahl von feinen konvergenten Linien bestand. Es wurde in der Verkleinerung die Anzahl der pro einen Zoll aufgelösten Linien festgestellt. Die nasse Kollodiumplatte stand mit 450 aufgelösten Linien obenan, das Kodalinpapier der Kodak-Comp. (Negativ-Bromsilbergelatinepapier für Photolithographie) mit 160 Linien und der Eastman Proceß-Film (für Autotypie) zeigte nur die Auflösung von 140 Linien.

Otto Sandvik im Eastman-Kodak-Laboratorium benützte ein System paralleler Linien in 16 Gruppen von verschiedener Anordnung (Journ. Optic Soc. Amer. Bd. 14, S. 161, auch Zeitschr. f. wiss. Phot. 1927, Bd. 24, S. 336 und Kinotechnik, S. 204).

Die Tafel VIII Abb. C. zeigt dieses Testobjekt. Die Distanz der Mittelpunkte (d) ist bei allen Linienscharen dieselbe.

Das Verhältnis der Breite des Zwischenraumes des Testobjektes zu den Linien ist für jede Gruppe verschieden. Dieses Verhältnis ist mit A bezeichnet und es ist

$$A = \frac{\text{Breite des Zwischenraumes}}{\text{Breite der Linie}}.$$

Der Wert für A ist für jede Gruppe der Linien in allen Testobjekten derselbe (ungeachtet ihrer Größe), aber d, der Zwischenraum, ist verschieden, In den einzelnen Teilgruppen der Linienscharen des Testobjektes ist d aber konstant.

Die mikroskopische Untersuchung einer Serie von Aufnahmen mit 20facher Verkleinerung dieser Test-Objekte mit verschiedener Periodizität, d, ergab die Werte für A das Auflösungsvermögen des jeweiligen Materials für Liniengruppen verschiedener Abmessungen. — Wenn d (in Millimetern angegeben) die Zwischenraum-Konstante für die jeweilige Tabelle ist, die gerade aufgelöst wurde, so ergibt sich R (das Auflösungsvermögen, ausgedrückt in Linien pro mm) durch folgende Formel:

$$R = \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{0{,}05}$$

bei der Verkleinerung auf 1/20 gleich 0,05.

K. Huse hat im Journ. Optic Soc. Amer. 1917 Bd. I, S. 119 nachgewiesen, daß das Auflösungsvermögen in hohem Grade von der Belichtung abhängt. — Bei kurzen und langen Belichtungszeiten ist es verhältnismäßig gering, erreicht aber bei Mittelwerten ein deutliches Maximum; das Auflösungsvermögen kann jedenfalls um 60% oder mehr vom Maximum differieren. Es ist üblich, das Auflösungsvermögen eines Materials mit dem Maximalwert anzugeben, der bei der Optimalbelichtung gewonnen wird. — Dies ermittelt man durch eine Serie von Belichtungszeiten von großem Spielraum.

Nach K. Huse hat auch die Entwicklungszeit einen großen Einfluß auf das Auflösungsvermögen. — Man muß deshalb auch Messungen an Negativen anstellen, die verschieden lang entwickelt wurden. — Der Grad, bis zu dem ein photographisches Material entwickelt wurde, wird gewöhnlich mit genügender Genauigkeit in Gammawerten ausgedrückt. — Das Auflösungsvermögen hängt jedoch nicht nur vom Gamma, sondern von der Entwicklungssubstanz ab.

In allen Fällen ist das Verhältnis des Auflösungsvermögens für bestimmte Entwicklungszeit zu log A durch eine gerade Linie wiedergegeben. — Es ist wahrscheinlich, daß die Verteilung der Korngrößen von Einfluß auf die Steilheit der Kurven ist.

Bei kürzerer Entwicklung besteht im allgemeinen die Neigung, daß ein höheres Auflösungsvermögen erhalten wird als bei längerer Entwicklung. — In der Praxis, wo hohe Kontraste notwendig sind, ist es gewöhnlich unmöglich, dieses hohe durch kürzere Entwicklung bedingte Auflösungsvermögen auszunützen. — Sandvik stellt also direkte Beziehungen fest zwischen den Werten des Auflösungsvermögens und dem in den betreffenden Testobjekten benützten Verhältnis von Linie und Zwischenraum. — Diese Unterschiede des Auflösungsvermögens sind beträchtlich und können in einigen Fällen das 8fache betragen. — Es ist deshalb einleuchtend, daß jeder Auflösungswert, der durch eine Testmethode mit konvergenten oder parallelen Linien erhalten wird, sinnlos ist, wenn er nicht durch eine genaue Bestimmung des Verhältniswertes A ergänzt wird.

Der Mangel der Übereinstimmung zwischen konvergierenden Liniengruppen und dem aus parallelen Linien gebildeten Testobjekt ist zum Teil dem Umstand zuzuschreiben, daß in dem letzteren die Breite der Linien häufig viel geringer als die der Zwischenräume war. Dies allein genügt aber nicht, um die großen Unterschiede zu erklären, die beobachtet wurden.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Testobjekte mit konvergenten Linien sind praktischer zur Bestimmung von Auflösungswerten, aber das Testobjekt mit parallelen Linien (bei dem die Linien und Zwischenräume von gleicher Breite Breite sind) erweist sich als Standard zweckmäßiger. — Ein Sektoren-Testobjekt könnte so gezeichnet werden, daß die schwarzen Sektoren breiter sind, als die hellen, so daß die Ergebnisse der beiden Testobjekte gleich werden.

Nach Sandvik übt die Zusammensetzung und die Zeitdauer der Entwicklung einen Einfluß auf das Auflösungsvermögen einer Platte aus und dieser Entwickler-Einfluß kann densimetrisch durch Bestimmung des Gamma bei verschieden langer Entwicklung im Näherungswert gefunden werden. — Ebenso ist die Entwickler-Temperatur zu berücksichtigen. Sandvik benutzte z. B. einen Metol-Hydrochinon-Pottasche-Entwickler (1 g Metol, 9 g Hydrochinon, 75 g Natriumsulfit, 25 g Kaliumkarbonat, 5 g Bromkalium, auffüllen auf 1000 ccm) mit neun verschiedenen Belichtungszeiten und einer Entwicklungsdauer von 1, 2, 4 und 8 Min. Man findet so das Auflösungsvermögen für verschiedene Werte von A. Z. B. fand Sandvik für $A=1$ die auflösende Kraft für Eastman-Prozeß-Platten = 58, für hochempfindliche Platten = 32 bis 46.

Über Verbreiterung (seitliche Extension) der Bilder während des Entwickelns s. Nachbareffekt (S. 150).

Die Untersuchungen über die Abhängigkeit des Auflösungsvermögens einer photographischen Platte von dem Kontrast des Objektes setzte Otto Sandvik (Nr. 334 der Kodak-Mitteilungen; auch Phot. Journ. Band 68, Seite 313, 1928) mit einem „Parallel line test object“ später weiter fort: Bei geringen Bildkonstrasten (im Sinne L. A. Jones, s. Kapitel VI.) ist nach Sandvik die auflösende Kraft gering und wächst rasch mit steigenden Kontrasten. Die Relation zwischen Dichte des Testobjektes und der auflösenden Kraft wird nach Sandvik durch die Formel

$$R = C\ (1 - e^{-a\,D})$$

ausgedrückt, worin R die auflösende Kraft, D die Dichte der opaken Sektionen des Testobjektes, C und a Konstante sind und e die Basis des natürlichen Logarithmensystems. — Die auflösende Kraft schwankt je nach der Exposition in weiten Grenzen.

Das Auflösungsvermögen photographischer Platten hängt von der Wellenlänge des Lichtes ab. Otto Sandvik und George Silberstein untersuchten im Spektrum den Zusammenhang des Auflösungsvermögens mit der Wellenlänge des Lichtes in dem Bezirke von 380 bis 725 $\mu\mu$. Das Maximum der Auflösung ist auf das Violett und das benachbarte Ultraviolett be-

schränkt. Gewöhnliche blauempfindliche Bromsilbergelatine zeigt das Minimum des Auflösungsvermögens bei 535 $\mu\mu$.

Dagegen haben orthochromatische und panchromatische Platten, die mit Farbstoffen sensibilisiert sind, dieses Minimum bei 485. Es spielt die Absorption des Lichtes und seine Zerstreuung hierbei eine Rolle.

Der Zusatz von gelben Farbstoffen, die nur die Gelatine (nicht aber das Bromsilberkorn) färben und somit als Lichtfilter wirken, wird zur Herstellung von Positivfilmen in der Kinematographie benützt, denn es wird durch Einverleibung eines gelben Farbstoffes in die Bromsilberemulsion

1. das tiefere Eindringen des Lichtes in die Emulsionsschichte verhindert und dadurch eine weichere Gradation bewirkt und

2. wird das Auflösungsvermögen der Emulsion verbessert.

Auf diesen Grundlagen sind die „Double-Filme“ der Eastman Kodak Co. (1927) ausgearbeitet, welche eine besonders feinkörnige Bromsilberemulsion enthalten, an und für sich eine wesentlich weichere Gradation aufweisen als die gewöhnlichen Kino-Positiv-Filme und deshalb besonders zur Herstellung von Duplikat-Negativen dienen („Doublierung“); hierzu eignen sich die gewöhnlichen Diapositivschichten nicht gut wegen ihrer steilen Gradation und die weicheren Negativfilme sind wegen ihres groben Bromsilberkornes und wegen ihres geringen Auflösungsvermögens nicht gut zur „Doublierung“ brauchbar. Die sensitometrische Untersuchung dieser Verhältnisse nahm C. Emmermann (Filmtechnik, 1927, S. 410) vor und belegte sie mit zahlreichen Schwärzungskurven; die Empfindlichkeit wurde nur mit dem Schwellenwert von 44 Graden Eder-Hecht gefunden (gegenüber 54° E. H. der gewöhnlichen Kinopositivfilme); der Zusatz der gelben Farbe vermindert die Empfindlichkeit, die nach dem Auswaschen des Farbstoffes namhaft steigt. Ältere Literatur über den Effekt von Zusätzen inaktinischer Farbstoffe zur Erhöhung der Bildschärfe im Negativprozeß findet sich in Eders Ausführlichem Handbuch d. Photogr., Bd. II, 2. Auflage 1898 in dem Abschnitt „Verwendung gefärbter Emulsionsschichten zur Vermeidung von Lichthöfen“ auf Seite 103 und Bd. III, 5. Aufl. 1903, S. 104.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

DREIUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

DIE SOLARISATIONSERSCHEINUNGEN IM ZUSAMMENHANGE MIT DER SENSITOMETRIE.

Bei einer übermäßig langen Belichtung einer photographischen Jod-, Brom- oder Chlorsilberplatte und darauffolgender Entwicklung nimmt die Schwärzung des Negativs, nachdem sie den Höhepunkt in der neutralen Zone (s. S. 39) erreicht hat, wieder allmählich ab; die Schwärzungskurve erhält einen absteigenden Ast („Solarisation"), wodurch anstatt eines normalen Negativs direkte Positive entstehen. Diese Erscheinung wurde zuerst bei Daguerreotypplatten beobachtet, ebenso bei nassen Jodsilberplatten mit physikalischer Entwicklung und bei Bromsilberkollodium und später bei Bromsilbergelatine und Chlorsilbergelatine mit Entwicklung; darüber wurde ausführlich in Eders „Photochemie", dieses Handbuches, Halle, 1906, sowie in dem Bande II, 1. Einleitung in die Negativverfahren von Lüppo-Cramer, 1927 berichtet. — Vgl. auch S. 532 in vorliegendem Buch.

Die verschiedenen photographischen Schichten weisen eine sehr verschiedene Tendenz zur Solarisation auf und diese kann durch Zusatz von Bromakzeptoren (Kalium- oder Natriumnitrit, Sulfit, Hydrochinon, Brenzkatechin, Resorzin, Salze des Phenylhydrazins, des Phenylglyzins, wie amidoessigsaures Natrium) beseitigt oder verzögert werden. Jodsilber solarisiert leicht noch vor Eintritt einer direkt sichtbaren Schwärzung, aber beim Chlorsilber kann man das entgegengesetzte beobachten und bei Bromsilber treten starke Schwankungen mit der Korngröße, der Wellenlänge des wirkenden Lichtes, dem Zusatz von Bromakzeptoren[1]) usw. auf.

---

1) S. Eder, Zeitschr. f. Physik. Chemie, 1925, Bd. 117, Heft 3/4. — Über die Verhinderung der Solarisation durch Natriumnitrit und dem ähnlich wirkenden Äzeton-Semikarbazon (einem kräftigen Bromakzeptor) s. Lüppo-Cramer, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928, Bd. 25, S. 224.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Es ist von Interesse, alle diese Vorgänge sensitometrisch an der Hand von Schwärzungskurven zu verfolgen und auch den Einfluß des farbigen Spektrums zu berücksichtigen.

Stellt man den Schwellenwert einer photographischen Platte durch photometrische Bestimmung des Auftretens der ersten entwickelbaren Bildspur und bestimmt, bei wievielfacher Belichtung darüber hinaus der Beginn der Solarisation eintritt, so erhält man den „Schwellenwert der Solarisation“ oder die Kennziffer der Solarisation für eine gegebene Plattensorte. Diese Werte sind sehr groß, z. B. sie betragen das 20—50tausendfache des Schwellenwertes bei gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten (vgl. die Verwendung des Graukeilsensitometers hierfür, S. 516).

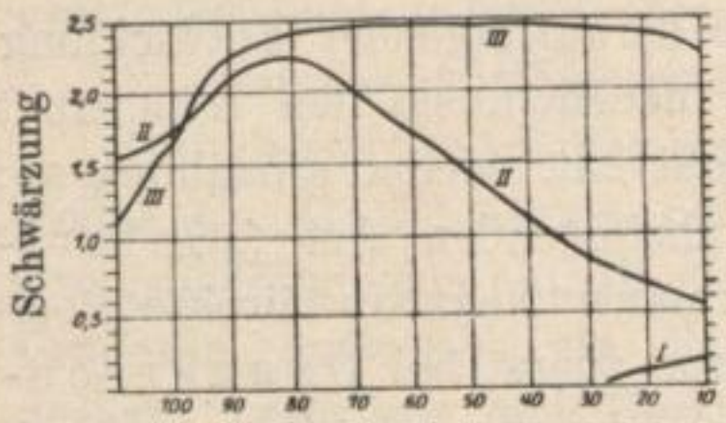


Abb. 193. Graukeil-Sensitometergrade Eder-Hecht.

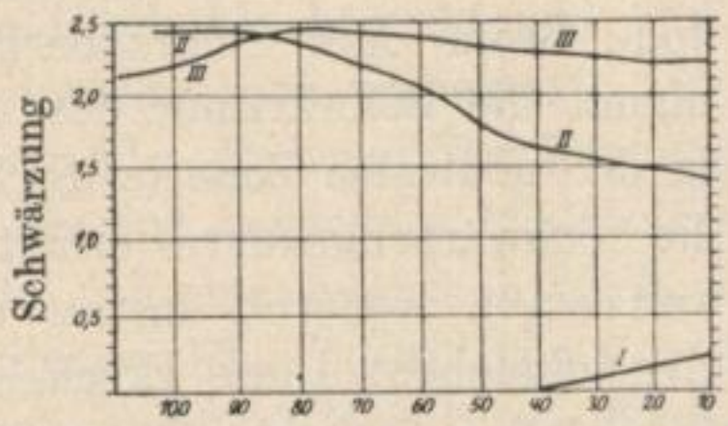


Abb. 194. Graukeil-Sensitometergrade Eder-Hecht.

I = Direkte Schwärzung der Bromsilberplatte mit Nitrit. *II* = Solarisationserscheinung auf der entwickelten Platte. *III* = Dieselbe Belichtung auf der nitrithaltigen Platte (entwickelt). (Belichtungszeit 2 Minuten.)

Abb. 193 zeigt nach den Untersuchungen Eders das Aussehen der charakteristischen Kurven bei einer Belichtung im Eder-

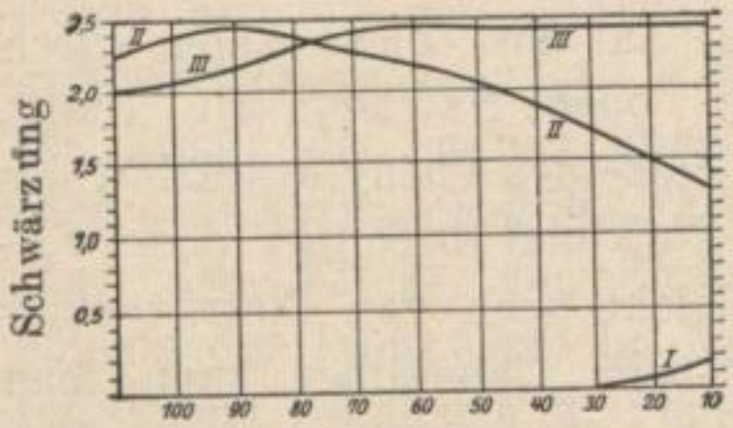


Abb. 195. Graukeil-Sensitometergrade Eder-Hecht.

I = Direkte Schwärzung der Bromsilberplatte mit Nitrit. *II* = Solarisationserscheinung auf der entwickelten Platte. *III* = Dieselbe Belichtung auf der nitrithaltigen Platte (entwickelt). (Belichtungszeit 3 Minuten.) Nach Eder.

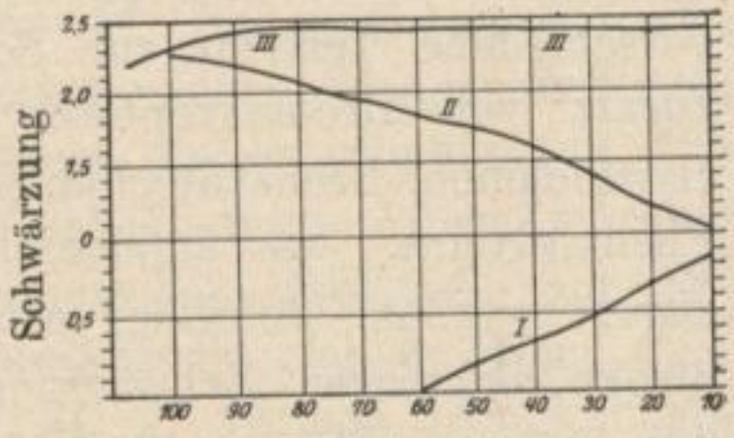


Abb. 196. Graukeil-Sensitometergrade Eder-Hecht.

I = Direkte Schwärzung der Bromsilberplatte mit Nitrit. *II* = Solarisationserscheinung auf der entwickelten Platte. *III* = Dieselbe Belichtung auf der nitrithaltigen Platte (entwickelt). (Belichtungszeit 2 Stunden.) Nach Eder.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Hecht-Sensitometer von 2—3 Minuten im diffusen Tageslichte und einer Entwicklung mit Metol-Hydrochinon während 3 Minuten (Eder, a. a. O.). Kurve I zeigt den geringen Betrag der direkten Schwärzung auf der mit Nitrit imprägnierten Platte nach primärer Fixierung, die so minimal ist, daß sie gegenüber den Kurven der Kurve II (Solarisationserscheinung auf der normalen Trockenplatte) und der Kurve III (Entwicklungsphänomen auf der mit 5%iger Nitritlösung imprägnierten und dann getrockneten Schicht) kaum ins Gewicht fällt. — Kurve IV entspricht einer Solarisation bei extrem langer Belichtung. — Abb. 193 bis 196 zeigen dieses Phänomen in verschiedenen Varianten.

Die Solarisationserscheinungen zeigen im allgemeinen keinen Schwarzschild-Effekt oder das p ist gleich 1, wie Luggin, Englisch und in neuester Zeit Lüppo-Cramer (Phot. Ind. 1927, S. 496) fanden. Es tritt also für gewöhnlich keine Begünstigung der Solarisation bei direkter Bestrahlung durch den sog. „Zeiteffekt“ (nach Lüppo-Cramer) ein, wenn man die Platte unmittelbar solarisierend überexponiert. Ganz anders gestaltet sich das Resultat, wenn man die Platten zunächst mit diffuser Vorbelichtung in das Stadium der maximalen Schwärzung im Entwickler bringt und sodann bis zur starken Solarisation weiter belichtet. Mit kleinen Intensitäten und langer Belichtung schreitet dann die Solarisation weiter vor als mit gleichem Produkte $J.t$, und kleiner Belichtungszeit (also das entgegengesetzte von dem gewöhnlichen Schwarzschild-Effekt).

In gewissen Fällen kann sich aber ein Einfluß des „Zeiteffektes“ auf Solarisationserscheinungen nach Lüppo-Cramer bemerklich machen (Phot. Ind. 1927, S. 498). Es können ganz entgegengesetzte Resultate entstehen. Diffus vorbelichtete Bromsilbergelatineplatten wurden mit Phenosafranin imprägniert und dann bei gleichem $J \cdot t$ einerseits in 10 cm, andererseits in 50 cm Entfernung belichtet. Im ersten Fall entstand ein dunkleres Bild auf verschleiertem Grund, im zweiten Fall ein Ausbleichbild (Solarisationserscheinung). (S. auch Phot. Korr. 1927, S. 103.)

Solarisation im Spektrum.[1])

Es sollen hier nur einige Beispiele der Solarisationsphänomene im Sonnenspektrum beschrieben werden, welche nach J. M. Eder bei tunlichstem Ausschlusse von diffusem Lichte vor sich gehen und durch gewöhnliche alkalische Entwicklung zum Erscheinen zu zu bringen sind. Diese Erscheinungen sind in ihrer charakteristischen Folge in Tafel IX und X abgebildet (Faksimile der entwickelten und

1) Nach Eders Originalabhandlung (Eder und Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904, II., S. 172). Die dort publizierten Spektren, insbesondere die der Solarisationserscheinungen sind im heliographischen Kupferdruck viel deutlicher als die diesem Werke beigegebenen autotypischen Reproduktionen von Tafel X.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

fixierten Original-Aufnahmen Eders; Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904).

Tafel IX, Spektrum 1 zeigt die Wirkung des prismatischen Spektrums (Glasprisma) bei normaler Belichtung mit dem bekannten Maximum in Blau; Spektrum 2 bei verdoppelter Belichtung, wobei die Wirkung bis zur Fraunhoferschen Linie E (im Grün), vorrückt; Spektrum 3 bei 10facher Überlichtung, wobei die Wirkung schon schwach über die Fraunhofersche Linie D im Gelb vorschreitet und im Blau die ersten Anzeichen der Solarisation schwach bemerkbar werden.

Bei 9000facher Überlichtung (Spektrum) tritt beim Entwickeln (mit Metol-Soda) Solarisation der Bromsilbergelatineplatte in jenen Bezirken des Spektrums auf, welche im normalen Negativprozesse die Maximalwirkung äußern und wo auch die direkte Schwärzung der Bromsilbergelatine zuerst beginnt.

Ungefähr analog dem Vorrücken der normalen Spektralwirkung bei verlängerter Belichtung nach beiden Seiten des Spektrums macht sich ein Vorrücken der Solarisationserscheinung bei 27 000 bis 135 000facher Überbelichtung (s. Spektrum 5 und 6) bemerklich.

Es läßt sich leicht konstatieren, daß das Bromsilber bei so enormen Belichtungen deutliche Schwärzungserscheinungen zeigt und ziemlich genau in jenen Bezirken, welche beim Entwickeln mit Metol-Soda (ohne Bromkalium) solarisieren. Beide Phänomene (Schwärzung und Solarisation) scheinen in manchen Fällen parallel zu laufen und bei gewöhnlichen Trockenplatten eilt die direkte Schwärzung in der Regel im Spektralblau etwas dem Solarisationsphänomen (selbst bei Anwendung starker Metol-Soda-Entwickler) voraus.

Untersucht man Bromsilbergelatineplatten, welche mit Farbstoffen sensibilisiert sind, auf ihr Verhalten gegen Schwärzung und Solarisation im Spektrum, so ergeben sich bemerkenswerte Unterschiede.

Eine mit Orthochrom *T* oder auch mit Äthylrot sensibilisierte Bromsilbergelatine-Trockenplatte liefert bei kurzer Belichtung ein normales Spektrumnegativ, welches der Streifen 7 in Tafel IX sehr deutlich zeigt.

Bei sehr starker Überbelichtung ergibt sich ein Solarisationsphänomen (Spektrum 8), welches ziemlich gut, (aber nicht ganz) dem normalen Negative anschließt. Bemerkenswert ist der Umstand, daß Orthochrom-T-Platten häufig im Sonnenspektrum eine Schwärzung viel früher annehmen, als das Solarisationsphänomen

auftritt; es gibt also Fälle, wo bei derartigen Platten die Schwärzung dem Solarisationsphänomen vorauseilt.

Bei Erythrosin- und Eosinplatten (in der Substanz gefärbte Emulsionen) entstehen bekanntlich zwei getrennte Sensibilisierungsmaxima im normalen Negative (s. II. Teil, pag. 92 und Tafel XIX, Spektren 9 und 10, III. Teil, pag. 14 und 78, IV. Teil, pag. 16, Taf. II, Spektrum 10); genau in denselben Spektralbezirken beginnen die Solarisationserscheinungen (Taf. X, Spektrum 9) und schreiten bei verlängerter Belichtung (Spektrum 10) vor, so daß das normale Negativ bei kurzer Belichtung an denselben Stellen des Spektrums eine Lichtwirkung zeigt, wo bei starker Überbelichtung später das Solarisationsphänomen bei 7000- und 15000facher Belichtungszeit erscheint; bei diesen Platten begleitet wieder die direkte Schwärzung der Erythrosinplatten ziemlich genau die Solarisationserscheinung. Behandelt man aber solche 15 000fach überlichtete Spektrumphotographien vor dem Entwickeln mit Ederschem Gemische von Chromsäure und Salpetersäure usw., so lassen sie sich sowohl im grünen wie im blauvioletten Bezirke normal entwickeln.

Sensibilisiert man Bromsilbergelatine mit Zyanin, Zyklamin oder Chinolinrot, so tritt bei normaler Belichtung im Orangegelb bis Gelbgrün ein Sensibilisierungsmaximum ein, nebst der Eigenempfindlichkeit des Bromsilbers in Blau, Violett und Ultraviolett; das Bild ist überall ein normales Negativ. Bei 200 000facher Überbelichtung tritt in diesen Bezirken, im Orangegelb, sowie Blauviolett, kräftige Solarisation (mit Metol-Soda-Entwickler) ein; jedoch ist das Phänomen sehr von der Konzentration des zur Sensibilisierung dienenden Farbstoffbades abhängig; an diesen Stellen tritt (vor der Entwicklung) auch die mehrfach erwähnte direkte Schwärzung ein und man könnte glauben, Solarisation und Schwärzung stehen im ursächlichen Zusammenhang, was aber nicht der Fall ist.

Bei diesen Zyklamin-, Chinolinrot-, Zyaninplatten oder den sich ähnlich verhaltenden Alizarinblaubisulfit- und Formylviolettplatten tritt aber eine sehr starke Solarisationserscheinung im äußersten Rot und Infrarot[1]) ein, welche in ähnlichen Fällen schon von anderen Forschern beobachtet worden

---

1) Der Schwerpunkt dieser Solarisationserscheinung (Herscheleffekt) liegt bei der Fraunhoferschen Linie A (Wellenlänge 759) und erstreckt sich von zirka 840 im Infrarot bis 700 im Rot (Eder), in Übereinstimmung mit den späteren Angaben von Schön u. Briggs (s. Seite 537).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

war; in diesem roten Bezirke geht aber der Solarisation keineswegs eine deutliche direkte Schwärzung voraus, sondern es ist nicht einmal schwache Graufärbung zu bemerken. Spektrum 11, Taf. XIX, zeigt dieses Phänomen (Faksimile der entwickelten und fixierten Originalplatte) und beweist den merkwürdigen Fall, daß auf ein und derselben Platte Solarisationsphänomene auftreten können, welchen direkte Schwärzung parallel läuft, während in anderen Spektralbezirken Solarisation unabhängig von der Schwärzung auftritt.

Vergleicht man damit die Beobachtung, daß Chromsäure das solarisierte Bild wegbeizt, nicht aber die Schwärzung des Bromsilbers beseitigt, sowie die analogen gründlichen Experimente Lüppo-Cramers, so ergibt sich mit Wahrscheinlichkeit, daß das Solarisationsphänomen auf Bromsilber wohl häufig von direkten Schwärzungserscheinungen begleitet ist, ohne daß aber Schwärzung und Solarisation in ursächlichem Zusammenhange stehen.

Nach M. Miyanishi sind Farbstoffe, die ein starkes Absorptionsband in der Region der Wellenlängen größer als 550 $\mu\mu$ zeigen, besonders geeignet zu Umkehrungserscheinungen im Rot und Infrarot; für solche Solarisationsversuche sind Bromsilber-Gelatineplatten, die mit Jodgrün gefärbt sind und bei Kerzenlicht bis zur Schleierbildung vorbelichtet wurden, besonders geeignet, um Umkehrungsspektren im Rot und Infrarot zu erhalten (Kodak Abstract Bull. 1926, S. 631.) — Über Zusammenhang zwischen der Umkehrwirkung von roten und infraroten Strahlen und sensibilisierte und durch Kerzenlicht vorbelichtete Platten s. auch Michika und Miyanishi (Phot. Korr. 1927, S. 154). — Vergl. „Herscheleffekt“ S. 537.

Über Solarisation im Spektrum siehe auch H. Belliot (Compt. Rend. 1926, Bd. 182, S. 1609; Science und Ind. Phot., September 1926, S. 163).

Die solarisierten Stellen auf Bromsilberplatten können durch infrarotes Licht wieder eine Verstärkung erfahren (Volmer. Photogr. Umkehrungserscheinungen. Inaug. Dissert. Leipzig 1910; Leszynski, Phot. Ind. 1927; Lüppo-Cramer, Zeitschr. f. wiss. Phot. 1927; Lüppo-Cramer, Phot. Korr. 1910, S. 576; Lüppo-Cramer, Das latente Bild. Halle 1910, S. 44; Lüppo-Cramer, Grundlagen d. Negativverfahrens, Halle 1927 in Bd. II. 1. von Eders Handbuch d. Phot., S. 595).

Über die zweite Umkehrung des Solarisationsbildes in ein stärker entwickelbares siehe ebenda. Vorbelichtetes Chlorsilber erfährt durch Bestrahlen mit rotem und gelbem Licht eine starke Solarisation (Lüppo-Cramer, Phot. Korr. 1927, S. 68; Lüppo-Cramer, Grundlagen d. Negativverfahren, 1927, S. 601). — Vergl. „Nachtrag“ im Schlußkapitel.

Herschel-Effekt.

Im Jahre 1840 publizierte Sir John F. W. Herschel in den Philosophical Transactions eine Beobachtung, die er im August 1839 gemacht hatte und in welcher er zuerst bekannt gab, daß Chlorsilberpapier im konzentriertem Lichte des Sonnenspektrums sich dunkelfärbe, daß aber im roten Lichte ein Ausbleichen stattfinde.

Er sagte, daß das rote Licht, das als inaktiv gelte, eine entgegengesetzte Wirkung wie das blaue und violette Licht ausübe.

Später fanden Draper (1842), Lerebours (1846), Claudet (1847), daß dieser Effekt des roten Lichtes auch für das latente Lichtbild auf Jodsilber-Daguerreotypplatten und die Entwicklung mit Quecksilberdampf gelte; die weitere historische Entwicklung der älteren Versuche in dieser Richtung, die sich auf Kollodiumplatten und Bromsilbergelatine erstreckte, wurde bereits eingehend in Eders Ausführlichem Handbuch der Photographie. Erster Band, zweite Hälfte, 1891, beschrieben und ging von da in die Fachliteratur über. Die Geschichte der neueren Arbeiten über den „Herschel-Effekt“ ist durch Lüppo-Cramer in seinem Buche „Grundlagen der Negativverfahren“ (Eders Handbuch der Photographie. II. 1. 1927) und in einem Vortrage Lüppo-Cramers auf dem 7. Intern. Kongreß f. Phot. in London 1928 beschrieben. Eine weitere interessante Studie über den „Herschel-Effekt“ gab A. P. H. Trivelli in der Mitteilung des Eastman-Kodak-Untersuchungslaboratoriums Nr. 383, 1929.

Der Name Herschel-Effekt, der ursprünglich nur für den direkten Schwärzungs- und Ausbleichprozeß bei Chlorsilberpapier angewendet war, wurde in der Folge auch auf das latente Lichtbild mit Entwicklung angewendet. Dieses Phänomen hat Bedeutung für die Verwendung in der Photographie mit infrarotem Licht, dann zur Herstellung von direkten Positiven und Duplikatnegativen und für die Theorie des latenten Lichtbildes.

A. L. Schön und R. M. Briggs (Trivelli l. c.) studierten die Photographie im Infrarot mit Bezug auf den Herschel-Effekt. Sie fanden, daß das rote Licht von 725 bis 850 besonders bei den mit Malachtgrün rotempfindlich gemachten Bromsilbergelatineplatten wirksam sei[1]); man braucht nicht mit monochromen Spektrallicht zu arbeiten, sondern es genügt das hinter dem Infrarotfilter Nr. 87 (erzeugt von Wratten in London) um den Herschel-Effekt gut zu bekommen. Die Intensität der Belichtung mit rotem Licht ist von Bedeutung.

Lüppo-Cramer stellte fest, daß auf gewissen Gaslichtpapieren der Herschel-Effekt nicht nur dann entsteht, wenn man die Belichtung durch ein rotes Filter vornimmt, sondern auch dann,

1) Diese Spektralzone ist dieselbe, die Eder viele Jahre früher besonders wirksam auf die Entstehung des Herscheleffektes bei „Zyklaminplatten“ gefunden hatte (s. Fußnote auf S. 535).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

wenn man gelbe, grüne und selbst blaue Filter vorschaltet. Hierbei ist aber die Intensität des Lichtes insofern von ausschlaggebender Bedeutung, als eine Ausbleichung nur bei schwächeren Intensitäten erfolgt, während bei stärkeren Intensitäten eine Schwärzungszunahme eintritt[1]). Lüppo-Cramer fand des weiteren, daß derartige Schichten durch die Vorbelichtung so stark empfindlich für die längerwelligen Strahlen werden, daß selbst das von blauen Filtern durchgelassene äußerste Rot noch seine ausbleichende Wirkung ausüben kann. E. Mauz[2]) untersuchte die kurzwellige Grenze des Herschel-Effektes genauer und fand, daß sie bis 580 $\mu\mu$ reicht.

Lüppo-Cramer studierte zuerst eingehend die Wirkung der Desensibilisatoren auf die photochemische Ausbleichung des Halogensilbers im Lichte verschiedener Farbe[3]). Er fand, daß derartige Farbstoffe, die die normale Empfindlichkeit des Bromsilbers auf geringe Bruchteile herabsetzen, nach kurzer diffuser Vorbelichtung in Gegenwart von Bromsalzen das latente Bild ausbleichen und zwar mit zunehmender Wellenlänge des Lichtes stärker. Diese Verhältnisse wurden auch von B. H. Carroll[4]) eingehend spektrographisch studiert und die Befunde von Lüppo-Cramer bestätigt. Der letztere hatte auch schon gefunden[5]), daß der Herschel-Effekt durch Bromionen in der Plattenschicht kräftig unterstützt wird. H. Arens[6]) erweiterte diese Versuche dahin, daß er feststellte, daß nach dem Auswaschen der überschüssigen Bromsalze aus der Schicht die Fähigkeit zum Herschel-Effekt verschwindet. Dem entsprechend verhindern nach Lüppo-Cramer[7]) Silberionen den Herschel-Effekt. Dies stimmt auch mit der Angabe von Trivelli a. a. O. überein, daß Sensibilisatoren für das latente Bild: Desensibilisatoren für den Herschel-Effekt sind und umgekehrt. Trivelli[8]) studierte den Herschel-Effekt bei gewöhnlichen Platten.

Die Platten Trivellis enthielten nur 0,03% Bromkalium vom Gewichte des Bromsilbers. Er untersuchte das Phänomen sensitometrisch mit dem Lichte einer Wolframfadenlampe von der Farbtempera-

---

1) Zeitschr. wiss. Phot., Bd. 25 (1928), S. 308, Bd. 26 (1929), S. 249.

2) Zeitschr. wiss. Photogr., Bd. 26 (1929), S. 289.

3) Grundlagen der photogr. Negativverf. (Eders Handb., Bd. II, 1). Halle 1927, S. 699.

4) Journ. Phys. Chem. 1925 (Bd. 29), S. 693.

5) Lüppo-Cramer, Das latente Bild, Halle 1911, S. 47.

6) Z. phys. Chem. 1925 (Bd. 114), S. 337.

7) Phot. Industrie 1929, Nr. 25.

8) Journ. Franklin Instit. 1929, S. 765.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

tur 2700 Grad absol. und benutze Lichtfilter, die Licht von 505 bis 535 durchließen und rote Filter mit der Durchlässigkeit bei zirka 700 $\mu\mu$. Es wurde ein Sensitometer mit nicht intermittierender Zeitskala verwendet und nach dem Vorschlag von Slotnikow[1]) eine Reihe von Belichtungen mit blauem Licht mit den verschiedenen Belichtungen mit rotem Licht gekreuzt; man erhält so verschieden Blau- und Rot-Belichtungen in den verschiedensten Expositionen; auch wurde die Entwicklungsdauer mit Pyrogallolentwickler variiert, da auch diese das Phänomen beeinflußt. Das Verhältnis der Blaubelichtung zur nachfolgenden Rotbelichtung ist von großem Einfluß auf die Maximalwirkung des Herschel-Effektes bei Bromsilbergelatine.

Beim Studium der Solarisation und des Herschel-Effektes sind sensitometrische Messungen und die Konstruktion von Schwärzungskurven in der oben beschriebenen Weise unerläßlich.

Vergl. auch den „Nachtrag“ im Schlußkapitel.

---

1) Photochemie 1920, S. 650.

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VIERUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

VOLLSTÄNDIGE DARSTELLUNG DER BESCHAFFENHEIT UND DER EIGENSCHAFTEN VON SILBERHALOID-EMULSIONEN UND BEISPIELE DES PRÜFUNGSGANGES.

A. Chemische und physikalische Untersuchung der Emulsionsschichten.

Die allgemeine chemische und physikalische Untersuchung der Emulsionsplatten, Filme und Papiere erstreckt sich zunächst auf folgende Punkte:

1. Ermittlung der auf der Platte befindlichen Emulsionsmenge pro Flächeneinheit.
2. Bestimmung der Gesamtmenge von Gelatine und Silbersalz und der Menge des darin vorfindlichen Silbers;
3. die Messung der Silberhaloidkörner und ihre Verteilung.
4. Gehalt an Brom, Chlor und Jod und eventuell an Farbstoffen (Sensibilisatoren, sowie Farbstoffen mit der Funktion als Lichtfilter als Mittel gegen Lichthof als Desensibilisatoren). — Untersuchung auf den Gehalt an absichtlich zugesetzten oder nicht völlig ausgewaschenen Bromkalium o. dgl.

I. Die Struktur und Zusammensetzung von Bromsilbergelatineplatten, Filmen und Entwicklungsplatten.

Die übersichtliche Zusammenfassung der chemisch-physikalischen Eigenschaften und der Struktur der gebräuchlichen Emulsionsschichten ist für die wissenschaftliche und angewandte Photographie von Wert. Eder gibt nach eigenen Versuchen folgende Übersicht[1]).

Bei Bromsilbergelatineplatten ist die Dicke des Glases bei kleineren Plattenformaten 0,8 bis 1 mm, bei größeren Formaten 1,3 bis 2 mm. Die Dicke der Emulsionsschicht bei gewöhnlichen Trockenplatten ist durchschnittlich 0,018 bis 0,022 mm. — Steife Planfilme besitzen eine Gesamtdicke von 0,2 bis höchstens 0,3 mm; die sensible Emulsionsschicht zirka 0,02 mm. —

1) J. M. Eder, „Camera“, Luzern, 1925, IV. Jahrgang Nr. 2. Eder, Rezepte und Tabellen für Photographie. 12. und 13. Aufl. 1927.

Kinofilme: Gesamtdicke 0,14 bis 0,16 mm[1]), Dicke der sensiblen Bromsilberemulsionsschicht 0,015 bis 0,02 mm; dazu kommt ein sehr dünner Zwischenguß, der das Haften der Emulsionsschicht vermittelt und überdies mitunter ein dünner Gelatinehinterguß auf der Rückseite des Films. Unterlagen von Rollfilmen für Handkameras sind etwa 0,08 mm dick; Packfilme 0,08 mm (Kodak. Goerz, Agfa), selten 0,05 mm; die Emulsionsschicht darauf ungefähr 0,015 bis 0,02 mm.

Das Gewicht von ein Dutzend Glasplatten 9×12 cm ist ungefähr 460 g; Filmpack 9×12 cm für 12 Aufnahmen 120 g; zwei Rollfilme 8×14 cm (für je 6 Aufnahmen) = 125 g (die Bildfläche von 9×12 und 8×14 ist nahezu gleich).

Bei abziehbaren Negativfilmen auf Karton beträgt z. B. die Dicke der Kartonunterlage 0,2 mm, die Gesamtdicke der Filmschicht 0,08—0,10 mm und die Dicke der sensiblen Bromsilbergelatineschicht 0,02 bis 0,03 mm.

Bei gewöhnlichen rapiden Bromsilbergelatine-Trokkenplatten kommen 16 bis 18, seltener 22 g Bromsilber auf 1 Quadratmeter, jedoch kommen auch gute Bromsilberplatten mit 10 g Bromsilber auf einen Quadratmeter in den Handel[2]) Kino-

---

1) Die durchschnittliche Dicke der unentwickelten Kino-Negativfilme beträgt nach den Ausführungen am VII. Intern. Kongreß für Photographie in London 1928 derzeit 0,16 mm; die Maximaldickte der unentwickelten Filmstreifen soll nach den Beschlüssen dieses Kongresses die Maximaldicke von 0,175 mm besitzen, über die man aus konstruktiven Gründen der mechanischen Einrichtungen der Kino-Aufnahme-Kamers nicht hinausgehen soll (Proceed. VII. Intern. Congress of Photogr. London. 1929, S. 482).

2) Jede Emulsionsart besitzt ein bestimmtes, allerdings ziemlich breites Optimum des Silbergehaltes, bei dessen Überschreitung keinerlei Vorteile, sondern sogar Nachteile sich ergeben können. Es ist somit ein großer Silbergehalt an und für sich kein Merkmal einer besonderen Güte der Emulsion. So z. B. enthält die vorzügliche Seed-Platte der Eastmann-Kodak Co. nur eine relativ sehr kleinem Silbergehalt, ebenso gewisse andere Handelssorten von guten Porträtemulsionen. Die Deckkraft der Emulsion hängt von der Art der Emulsionsbereitung ab. Es ist wenig bekannt, daß die mit ammoniakalischer Silberlösung hergestellten und lange digerierten Bromsilberemulsionen im allgemeinen einen höheren Silbergehalt pro Quadratmeter beanspruchen, während Rapidemulsionen, die mit wenig Gelatine und mit geringem Überschuß von Bromkalium und längerer Digestion bei 80° C gereift wurden, bei hoher Empfindlichkeit mit geringerem Silbergehalt ihr Auslangen finden. Dies gilt namentlich, wenn man die gußfertige „Siede-Emulsion“ nicht zum Maximum ihrer Empfindlichkeit (bis an die beginnende Schleierbildung) durch Forcieren der Warm-Digestion treibt, sondern die sie durch Zusatz von etwas Lysidin (Äthylenäthenyldiamin; Höchst a. M.) sensibilisiert (s. Seite 232).

Negativfilme enthalten ungefähr 12 bis 14 g Bromsilber auf 1 Quadratmeter. — Negativ-Emulsionen enthalten in der Regel nicht reines Bromsilber, sondern 3 Prozent Jodsilber; photomechanische Platten in der Regel mehr Jodsilber. — Diapositiv-Emulsionen sind meistens reine Bromsilberemulsionen, seltener Jodbromemulsionen, häufig Bromchlor-Emulsionen. — Alle Kino-Negativfilme, sowie die meisten Roll-, Plan- und Packfilme sind orthochromatisch (mittels Erythrosin); panchromatische Filme sind Spezialfilme.

Photomechanische Platten, sowie Diapositivplatten werden dünner gegossen; die Emulsionsschicht ist etwa 0,014 bis 0,016 mm dick; sie enthalten zirka 7—9 g Bromsilber auf 1 Quadratmeter Oberfläche. — Kino-Positivfilme: 5 bis 8 g Bromsilber pro 1 Quadratmeter.

Bromsilbergelatinepapier für Vergrößerungen (Positivpapier) enthält nur ungefähr den 3. bis 5. Teil des für Negativ-Emulsion rapider Platten erforderlichen Bromsilber-Quantums, etwa 2,8 bis 4 g Bromsilber auf den Quadratmeter; Gaslichtpapier sogar nur den 10. Teil, z. B. 1,8 bis 2,8 g Silberhaloid (Chlor- und Bromsilber) pro Quadratmeter, manche unempfindlichere Gaslichtpapiere enthalten reines Chlorsilber, gewöhnliche Gaslichtpapiere dagegen fast immer Chlorbromsilber.

Bromsilberkollodium-Emulsion, wie die E. Albertsche Kollodium-Emulsion des Handels, enthält in gebrauchsfertigem Zustande ungefähr 4,0 g Bromsilber in 100 cm^3. Nach dem Aufgießen auf Glasplatten und Abfließenlassen des Überschusses verbleiben etwa 6,5 g Bromsilber auf 1 Quadratmeter Glasfläche; die Dicke dieser Schicht ist in erstarrtem und gewaschenem Zustande 0,027 mm und in dieser Form wird die Emulsion zu Aufnahmen verwendet; nach dem völligen Trocknen ist sie nur mehr 0,011 mm dick [1]).

Die Körnung einer Bromsilbergelatineemulsion oder dgl. ist in der Regel sehr inhomogen. Sie zeigt sich in den einzelnen Silberkörnern (Bromsilberkörnern), dann in einer Zusammenballung dieser zu Klumpen und weiter in einer Agglomeration solcher Klumpen.

---

1) Näheres über den Silbergehalt und den Verbrauch von Bromsilber-Kollodium in der angewandten Photographie s. Eder „Ausführliches Handbuch der Photographie“ II. Bd., 2. Teil. 1927, 3. Aufl., S. 225.

Über die Dicke und Zusammensetzung von Daguerreotypplatten s. Eder und Kuchinka „Die Daguerreotypie“ Ausführliches Handbuch der Photographie, II. Bd., 3. Teil, 1927.

Immerhin kann man ungefähre Mittelwerte für die Bromsilberkörner verschiedener praktisch verwendeter Bromsilberemulsionen angeben.

Die Größe des Bromsilberkornes bei den sogenannten „kornlosen“ Lippmann-Platten (für Interferenz-Photochromie) beträgt ungefähr 0,0002 mm; dies gilt für ganz unreifes Bromsilber. Das Korn des gereiften Bromsilbers bei hochempfindlichen Platten ist ungefähr 0,002 bis 0,004 mm (unregelmäßige rundliche, meist kristallinische Körnchen, deren Größe und Empfindlichkeit aber ein Gemisch darstellt). — Feinkörnige Diapositivplatten zeigen ungefähr die halbe Größe des Silberhaloids der Rapid-Emulsionen oder weniger. — Die Empfindlichkeit des ganz unreifen Bromsilbers verhält sich zu der des hoch gereiften wie 1:180 000; jene von Positiv-Emulsion (Kino-Positivfilm) zur hochempfindlichen Bromsilbergelatine (Kino-Negativfilm) ungefähr wie 1:12, aber schwankend.

Das Silberkorn des entwickelten und fixierten Negatives hängt mit dem Korn der Bromsilber-Emulsion zusammen, weshalb Diapositive feinkörniger als Negative sind; dies fällt auch bei Kino-Negativen im Vergleiche mit Kino-Positiven sehr auf und beeinflußt sehr gewisse Tonungsprozesse (Beizfarbenbilder usw.) und chemische Manipulationen aller Art. — Die Entwicklung (Reduktion) des belichteten Bromsilberkornes beginnt von Zentren an der Oberfläche des Kornes, welche sich allmählich vergrößern und dann das ganze Korn schwärzen. Beim weiteren Entwickeln schließen sich mehrere Körner zu Haufen oder Klumpen; aber das tun nicht alle Körner und nicht alle Emulsionen im gleichen Maße. Die feinkörnigen zeigen dies weniger als die grobkörnigen Emulsionen.

Die Größe des Silberkornes bei entwickelten und fixierten Kinonegativen oder Porträtaufnahmen ist ungefähr 0,002 bis 0,004 mm; im Positivfilm und anderen Diapositiven 0,0006 bis 0,0015 mm. Es finden sich jedoch in den Handelssorten der hochempfindlichen Platten unvermittelt größere und kleinere Silberkörner, mitunter sogar Haufen z. B.: von 0,008 mm. — Das Silberkorn von photomechanischen Platten liegt zwischen diesen beiden. — Die Zahl der Bromsilberkörner beträgt in der mittleren Schwärzung eines Porträt-Negatives ungefähr 270 000 pro Quadratmillimeter von der Oberfläche einschließlich der tiefer liegenden Körner (Hauptmasse an der Oberfläche).

Die Schwärzung einer photographischen Platte wird durch den Logarithmus ihrer Undurchsichtigkeit ausgedrückt; über den

Zusammenhang mit der Silbermenge s. Kapitel III. Über die Dichte des zulässigen Schleiers s. Kapitel X.

Verziehung von Filmen. Viele Filme verziehen sich oder kontrahieren sich während des Entwicklungsprozesses, zum Teil ungleichmäßig. Es gibt aber auch Filme, die stabil sind. Der Wechsel der Dimensionen ist nicht gleich in Länge und Breite; er ist im Winter und Sommer verschieden und von der Feuchtigkeit abhängig.

Diese Verhältnisse verdienen alle Aufmerksamkeit in allen Fällen, in denen es auf genaues Einhalten der Maße ankommt. (F. E. Ross, Phot. Journ. 1924, S. 37).

Ähnliches gilt für photographische Negativ- und Positivpapiere.

III. Die Analyse von photographischen Emulsionen.

Die Luftfeuchtigkeit der gewöhnlichen Bromsilbergelatineschichten beträgt durchschnittlich 7—12 Prozent, wenn man die Schichten bei 100° C von ihr befreit.

Meistens enthalten die Bromsilbergelatineplatten des Handels eine kleine Menge Bromkalium oder Bromammonium, die man weder absichtlich der gewaschenen Emulsion vor dem Gießen zusetzt, um die Haltbarkeit oder Schleierlosigkeit zu erhöhen oder die auf unvollständiges Waschen der Gallerte zurückzuführen sind. Z. B. findet man 1% oder mehr Bromkalium vom Gewichte des Bromsilbers in den Emulsionen. Solche variable Mengen von löslichem Bromid in der Emulsion kann auf die Sensibilisierungsvorgänge, auf den Verlauf der Solarisation, der Desensibilisierung Einfluß nehmen.

Die gewöhnlichen Bromsilbergelatineemulsionen reagieren niemals sauer, da die saure Reaktion die Empfindlichkeit herabsetzen würde. Dagegen ist die Reaktion der Porträtemulsionen meist neutral oder ganz schwach alkalisch; dies rührt von der Gepflogenheit des Nachreifens der gewaschenen Gelatineemulsionen her. Die Bromsilbergelatine hat mehr oder weniger die Eigenschaft, nach dem Waschen und Schmelzen an Empfindlichkeit zuzunehmen, wenn man sie bei gelinder Wärme längere Zeit digeriert; hierbei wirkt eine ganz schwach alkalische Reaktion, wie man sie z. B. durch Zusatz geringer Mengen von Natriumkarbonat bewirkt, recht günstig, wobei man der Schleierbildung durch gleichzeitigen Zusatz von kleinen Mengen Bromkalium vorbeugt. Nebenbei bemerkt ist diese alkalische Nachdigestion (Nachreifen) der gewaschenen Bromsilbergelatine mittels Natriumkarbonat und einem schleierwidrigem löslichem Bromid von

Eder zuerst angegeben und in die Praxis der Emulsionsbereitung eingeführt worden. Hierüber wurde in Eders „Photographie mit Bromsilbergelatine", 5. Auflage, 1903, S. 137, 139 und 395 (Bd. III. von Eders Ausführlichem Handbuch der Photographie) eingehend berichtet. — Auch Thallosalze kommen in Betracht (Lüppo-Cramer, Phot. Korresp. 1929. Bd. 65. S. 189).

Desgleichen sind Zusätze von Alaun und Chromalaun zum Härten der Gelatinemasse häufig gebräuchlich, so daß man auch mit solchen Bestandteilen rechnen muß.

Auch können Zusätze von Mitteln zur Vermeidung der Solarisation (s. Kap. XXIII) vorkommen; ferner sind bei farbenempfindlichen Platten die diversen sensibilisierenden Farbstoffe zu beachten, die man nicht ohne Hilfe der Spektralanalyse sicherstellen kann.

Nach alledem erscheint es leicht verständlich, daß die Analyse von Bromsilbergelatineschichten usw. keine leichte Sache ist. Ähnliches gilt für Chlorsilbergelatine, für den Positivprozeß mit Entwicklung, wo allerdings die Verhältnisse einfacher liegen. Die Reaktion der Chlorsilberemulsionen ist allerdings nicht selten schwach sauer (Zitronensäure) und der Gehalt an Brom- und mitunter an Jodsilber beeinflußt stark die photographischen Eigenschaften solcher Diapositivplatten und Papiere.

Die Bestimmung des Gesamtsilbers auf der Flächeneinheit im photographischen Negativ- und Positiv-Material ist für die Praxis von Bedeutung und auch zur Kontrolle der Gleichmäßigkeit der Emulsionsschicht und zur Erkennung der Ausnützung des Silbers im Fabrikbetriebe nützlich. Allerdings geht die Güte einer Emulsion mit ihrem Gehalt an Silber keineswegs parallel und es gibt Emulsionen, die an Empfindlichkeit und Kraft trotz geringeren Silbergehaltes anderen Emulsionen mit ungünstigerer Kornbildung überlegen sind. Immerhin ist das Heruntergehen unter ein gewisses Maß bedenklich und auch das Verhältnis von Silber zum Bindemittel soll beachtet werden (s. „Nachtrag" im Schlußkapitel).

a) Die titrimetrische Methode eignet sich wegen ihrer Raschheit besonders gut für die Praxis.

Das Silberhaloid (AgCl, AgBr usw.) wird mit einer abgemessenen Menge von Zyankalium gelöst, wobei das Silber in den löslichen Komplex von $Ag(CN)_2$ verwandelt wird. Der Überschuß des Zyankaliums wird mit Silbernitratlösung von bekanntem Titer zurücktitriert, unter Zusatz von einigen Kubikzentimetern einer Lösung von Jod-

kalium in konzentriertem Ammoniak. Sobald beim weiteren Zusatz von Silbernitratlösung eine Trübung eintritt, ist die Titration zu Ende (es können die überschüssig zugesetzten Silberionen nicht mehr in das komplexe $Ag(CN)_2$ übergeführt werden). Zur Ausführung der Analyse genügen 5 ccm Emulsion oder 6 g Kinofilm oder 1,5 g abgeschabte Trockenemulsion (Methode von J. Eggert, Zeitschrift f. wissensch. Phot. 1924, Bd. 22, S. 209; Bd. 23, S. 282, ferner: W. Meidinger, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1925, Bd. 23. S. 284).

Die J. Eggertsche Methode eignet sich wegen der Schnelligund Genauigkeit ihrer Durchführung ganz besonders für die Zwecke der reinen Silberbestimmung in Emulsionen, Platten, Filmen usw. Deshalb sollen hier einige Einzelheiten angegeben werden: Der Indikator wird durch Mischen von gleichen Teilen einer $1^1/_2$ prozentigen Jodkaliumlösung mit 20prozentigem Ammoniak hergestellt und davon werden je 2 ccm zu 100 ccm des Reaktionsgemisches beigefügt. Die abgewogenen Emulsionsplatten, Filme, Emulsionen usw. werden in möglichst wenig Wasser zur Auflösung der Emulsionen gebracht und nach dem Abkühlen mit einer genau gemessenen Menge überschüssiger titrierter Zyankaliumlösung vermischt und der Indikator zugesetzt, dann mit Silbernitratlösung von genau bekanntem Titer bis zum Eintreten einer opaken Gelbfärbung (Ausscheidung von Jodsilber) zurücktitriert. Durch Zurückwägen des Schichtträgers kann die Emulsionsmenge und der Prozentgehalt an Silber gefunden werden.

Wünscht man die sensible Emulsionsschicht von der Unterlage als Folie abzulösen, so kann hierzu verdünnte Flußsäure oder Fluorammoniumlösung dienen oder (eventuell nach einer Gerbung mit Formalin) abwechselndes Behandeln mit verdünnter Salzsäure und konzentrierter Natriumkarbonatlösung dienen, wie es dem praktischen Photographen wohl bekannt ist.

b) Gewichtsanalytische (gravimetrische) Methode. Die Grundzüge der Analyse von Gelatineemulsionen wurden zuerst von J. M. Eder (Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 239, S. 475) angegeben und von E. Valenta in seiner „Photographischen Chemie“. 2. Aufl. 1921, und insbesondere von H. H. Schmidt und F. Pretschner verbessert.

Fertige Trockenplatten werden zunächst mit destilliertem Wasser lange gewaschen, um kleine Mengen von etwa vorhandenem oder absichtlich (als Gegenmittel gegen Schleier) zugesetztem Bromkalium zu entfernen und im Filtrat zu bestimmen.

Will man jedoch nur die Gesamtmenge des darin enthaltenen Halogensilbers quantitativ bestimmen, so werden in der Dunkelkammer

von der Bromsilbergelatineplatte etwa 2 g trocken abgeschabt, gewogen, in einem Becherglas in 60 ccm Wasser aufquellen gelassen, mit 2 ccm Salpetersäure (spez. Gew. 1,40) vermischt, im Wasserbade mehrere Stunden lang erhitzt und durch Aufkochen das Bromsilber zum Flocken gebracht. Der Niederschlag von Halogensilber, der sich abgesetzt hat, wird filtriert und bis zur neutralen Reaktion gewaschen. Der Niederschlag wird getrocknet, sorgfältig vom Papier losgelöst und dieses in einem Porzellantiegel verascht; der Niederschlag wird nach dem Erkalten in den Tiegel gebracht, bis zum Schmelzen des Bromsilbers erhitzt und nach dem Erkalten gewogen (Summe von Bromsilber, Jodsilber, eventuell Chlorsilber). Die Niederschläge von Silberhaloid enthalten stets mehr oder weniger organische Zersetzungsprodukte der Gelatine. Den Gehalt an reinem Silber in diesem Niederschlag findet man, wenn man den geglühten Niederschlag von Halogensilber mit kohlensaurem Natron-Kali schmilzt, wodurch es zu Metall reduziert und als solches direkt oder titrimetrisch nach Wiederauflösen in Salpetersäure bestimmt werden kann. Oder man reduziert das noch feuchte Halogensilber mit einer überschüssigen Menge von Zinkstaub mit Zusatz von etwas Essigsäure und Natriumazetat, wobei es zu Metall reduziert und nach dem Waschen titrimetrisch bestimmt wird, während die Halogene in die Lösung gehen (Valenta) und im Filtrate analysiert werden können. Lehmann reduziert die feuchten Bromsilbergelatineschichten mit ätzalkalischen Lösungen von salzsaurem oder schwefelsaurem Hydroxylamin, wodurch Brom-, Jod- und Chlorsilber restlos zu Metall reduziert werden.

Die genauesten Untersuchungen der Gelatineemulsionen nach der gravimetrischen Methode veröffentlichten H. H. Schmidt und F. Pretschner aus dem wissenschaftlichen Laboratorium der Perutz-Trockenplattenfabrik in München. Zur Zerstörung der Gelatine bevorzugen sie verdünnte Salpetersäure. Das Optimum der Konzentration ist nach den Untersuchungen von H. H. Schmidt und F. Pretschner 1 Teil Salpetersäure (spez. Gew. 1,40) und 30 Teile geschmolzene Emulsion. Man erhitzt während 4—6 Stunden im

---

1) E. Valenta, „Zur chemischen Analyse von Bromsilbergelatine“ (Phot. Korresp. 1914. S. 122). Es muß bemerkt werden, daß die daselbst vorgeschriebene Zerstörung der Gelatine mit 20 prozentiger Salpetersäure eine zu hohe Salpetersäure-Konzentration aufweist, die zu partieller Oxydation des etwa vorhandenen Jodsilbers führen kann. Deshalb ist die von H. H. Schmidt und Pretschner empfohlene geringere Konzentration (1 Volum Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,40 mit 30 Vol. Emulsion) mit 4—6 stündigem Erhitzen im Glyzerinbade vorzuziehen (Zeitschr. f. wissenschaftl. Phot. 1928, Bd. 25, S. 293).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Glyzerinbade; es tritt hierbei keine Oxydation des etwa vorhandenen Jodsilbers zu Silberjodat ein. Nach dem Abkühlen wird der Niederschlag abfiltriert und gewaschen, getrocknet und gewogen. Die Trennung von Brom, Jod und Chlor erfolgt nach den bekannten analytischen Methoden. Der Niederschlag besteht allerdings nicht aus reinem Halogensilber; er enthält noch mehr oder weniger adsorbierte Gelatine. Zur Ausscheidung des reinen Silbers wird eine gewogene Menge des getrockneten Rückstandes mit alkalischer Hydrazinsulfatlösung in der Siedehitze zu metallischem Silber reduziert und dieses abfiltriert und nach dem Glühen gewogen. Schmidt und Pretschner gaben einen genauen gravimetrischen Analysengang an, der genaue Silber- und Halogenbestimmungen gestattet und neuerdings noch dadurch verbessert worden ist, daß vor dem Salpetersäureabbau Halogensilber und Gelatine durch Zentrifugieren weitgehend getrennt werden. Diese Methode kann auch zur Untersuchung belichteter Emulsionsschichten verwendet werden (Zeitschr. f. wissensch. Phot., Bd. 25, 1928, S. 294 u. 355 und Bd. 26, S. 86 u. S. 259). Andere Methoden sind in dem Werke Dr. Wentzel, „Die photogr. Industrie", Dresden 1926, S. 189 sehr ausführlich beschrieben.

Der Gehalt an Halogenen läßt sich in Emulsionen nach den bekannten Methoden der analytischen Chemie bestimmen. Valenta benützte die Methode von Fresenius: Der geschmolzene und gewogene Niederschlag von Jodbromsilber wird mit Zink und Essigsäure zersetzt und das im Filtrat enthaltene Jod mittels salpetriger Säure frei gemacht und nach dem Ausschütteln mit Schwefelkohlenstoff mit Thiosulfatlösung titrimetrisch bestimmt.

Zur quantitativen Bestimmung von Jod in Jodbromemulsion ist auch das Verfahren von Baubigny und Bekk in der von Lehmann und Bohner angegebenen Form zu empfehlen (Phot. Indust. 1922, S. 467). Es beruht auf der Verwendung von Chromschwefelsäure. Über Luthers Methode s. Zeitschr. f. angewandte Chemie. 1922. S. 399; s. auch S. 457 dieses Buches; ferner auch Wentzel, „Die photographisch-chemische Industrie". 1926. S. 191. — Ferner: Baubigny und Chavanne, Chemiker Zeitung. 1911. S. 455; Beck, Chemiker Zeitung. 1911. S. 455. E. Müller, „Die elektrometrische Maßanalyse". 2. Aufl. S. 67, auch Photogr. Indust. 1924. S. 305 und 332. — E. Lehmann, Chemiker Ztg. 1922. S. 323. — K. Leistner zerstört die Gelatine mit Benzoat oder einem naphtalinsulfosaurem Sa., s. Wentzel, „Die photogr.-chem. Industrie," 1926. S. 189. — Steigmann, Phot. Industr. 1923. S. 109.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Der Jodsilbergehalt einer Bromsilbergelatine für Negativaufnahmen schwankt zwischen 1 bis 5%, beträgt aber in den allermeisten Handelssorten 3% vom Bromsilber. Ein und dasselbe Jodsilbergehalt kann einen sehr verschiedenartigen Einfluß auf Empfindlichkeit, Gradation und Farbenempfindlichkeit ausüben; es hängt dies von der Art des Mischens beim Emulsionieren ab, was allgemein bekannt ist.

Mischt man von vornherein das Jodsalz zum Bromsalz, so zeigt sich ein anderer Effekt, als wenn das Jodkalium zur fertig gemischten Emulsion hinterher zugesetzt wird. Weniger bekannt ist die Tatsache, daß das nachträglich zugesetzte Jodkalium zufolge Oberflächenwirkung Emulsionen liefert, welche eine ausgesprochen höhere Grünempfindlichkeit aufweisen (Farbensensibilisierung durch das gelbe Jodsilber), so daß es bei oberflächlicher Betrachtung der Proben im Farbensensitometer den Anschein erweckt, als ob eine schwachorthochromatische Platte vorliegen würde (E.).

Chlorbromemulsionen können in Annäherung durch Behandeln der feuchten von der Unterlage getrennten Silberhaloidschichten mit Ammoniumkarbonat (das fast nur das Chlorsilber löst) und Ausscheidung des Chlorsilbers aus dem Filtrat durch Ansäuern mit Salpetersäure analysiert werden. Ammoniak löst das übrigbleibende Bromsilber; Jodsilber ist in Ammoniak und Ammoniumkarbonat unlöslich und bleibt ganz zurück.

Diese Methode gibt jedoch nur Näherungswerte, während genaue Analysen nur nach den Methoden der exakten analytischen Chemie durchgeführt werden können.

Bromsilbergelatineplatten zeigen eine mehr graue, Chlorsilbergelatine eine mehr rote Anlauffarbe am Tageslichte. Noch auffälliger tritt die verschiedene Färbung am Lichte bei Gegenwart von Wasserstoffsuperoxyd hervor. Zum qualitativen Nachweis von Chlor- und Bromsilber bei Diapositivplatten empfiehlt A. P. H. Trivelli (Phot. Korresp. 1912, S. 60) dieselben mit Wasserstoffsuperoxyd zu tränken, und zu belichten, bei Bromsilberemulsionen entsteht hierbei braunes Silberoxyd, bei Chlorsilber tritt dagegen von blauem Photochlorid ein, während gemischte Emulsionen eine dunkelblaue Farbe annehmen. Der Chlorsilbernachweis kann natürlich durch Auflösen des Chlorsilbers in einer Lösung von Ammoniumkarbonat erfolgen.

IV. Messung der Dicke und Gleichmäßigkeit der Emulsionsschichte.

Die Dicke der Emulsionsschicht wird am Querschnitt gemessen. ebenso die Quellung der Leimschicht im Wasser von bestimmter Temperatur, der Einfluß von Härtungsmitteln, die Aufnahmefähigkeit für Entwicklerflüssigkeiten. Das Quellungsvermögen bestimmt man meistens gewichtsanalytisch. Die Messung des Aufquellens der Gelatineschichten auf festen Unterlagen nehmen Sheppard und Elliot (Mitteilung des Kodaks Untersuchungs-Laboratorium Nr. 203) mit einer Art Waage vor, bei der ein ausbalancierter Quarzstab auf der Schicht aufsteht und beim Quellen gehoben wird.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Gleichmäßigkeit der Schicht ist bei Verwendung von Solinglas nicht besonders groß, weil sich Mulden und Erhebungen geltend machen, was die Dicke der Schicht, die Gradation und die Empfindlichkeit mehr oder weniger beeinflußt. Bei photometrischen Präzisionsmessungen muß man sich deshalb des Spiegelglases bedienen.

Die Empfindlichkeit der zu Beginn der Gießmanipulationen verarbeiteten Schichten ist in der Regel etwas anders, als die am Schlusse derselben (Reifungsvorgang). Es empfiehlt sich deshalb, bei sensitometrischen Proben eine größere Platte in mehrere Teile zu zerschneiden und diese der Arbeit zugrunde zu legen.

Auch die Verteilung des Bromsilberkornes in den Emulsionsschichten schwankt häufig etwas von der Oberfläche gegen die Unterlage zu, indem die gröberen und schwereren Partikelchen der Silberemulsion sich rascher zu Boden setzen, was namentlich dann bemerkbar wird, wenn die gegossenen Platten langsam abkühlen. Es kann dann auch die obere Schicht etwas ärmer an Jodsilber sein als die auf der Glasplatte ruhende.

VI. Untersuchung der Bromsilbergelatine-Emulsionen auf „Ursilber“ und „Photo-Silber“.

Das Bromsilber der Gelatineemulsion erfährt beim „Reifungsprozeß“ eine minimale Reduktion zu Silber (oder Silbersubbromid), was ein wichtiges Moment für die Empfindlichkeitssteigerung bedeutet, wie Eder zuerst angegeben und in seiner „Photographie mit Bromsilbergelatine“ (5. Aufl. 1903, S. 85) genau beschrieben hat[1]).

Die Bromsilbergelatineemulsionen enthalten eine bei steigender Digestion zunehmende Menge von Silber, womit die Empfindlichkeitsteigerung zusammenhängt.

Es kommt also das Bromsilber in photographischen Gelatineemulsionen nicht in streng äquivalenten Verhältnissen von Silber zu Brom vor, sondern scheint das erstere ein wenig zu überwiegen.

F. Weigert und F. Lühr folgerten aus ihren mikrochemischen Analysen, daß sich der Gehalt photographischer Schichten an überschüssigem Silber nachweisen läßt und z. B. bei normalen Handelsplatten von Bromsilbergelatine im Format 9×12 cm zirka 0,02 mg Silber beträgt. Sie teilten mit, daß der Gehalt der Brom-

1) S. auch Lüppo-Cramer „Die Grundlagen der photographischen Negativverfahren“ (Eder, Handbuch II, 1) 1927, S. 288; von Weigert ist diese alte „Reduktionstheorie“ Eders erwähnt (Zeitschr. f. Elektrochemie 1928, S. 605), aber ohne Nennung des Namens des Urhebers derselben.

silberemulsion an metallischem Silber und damit zusammenhängende photographische Eigenschaften der Bromsilberemulsionen parallel veränderlich sind und führten dies später (Zeitschr. f. Elektrochemie 1928, S. 605; auch Phot. Indust. 1929, S. 274) näher aus. Sie nennen das während der Herstellung der Emulsion entstandene Silber das „Ursilber“ und das beim Belichten dazugekommene das „Photosilber“.

Diese Befunde von Weigert und Lühr wurden von I. Eggert (Zeitschr. f. Elektrochem. 1928, Nr. 9) einer Kritik unterzogen; er machte darauf aufmerksam, daß Gelatineschichten, die mit silberhältigen Fixierbädern behandelt wurden, kleine Mengen von Silberverbindungen absorbieren, die sehr fest in der Gallerte sitzenbleiben. Auf diese Weise werden kleine Silbermengen eingeschleppt und die Analysenbefunde dadurch verfälscht.

Siehe auch Heinr. Kieser „Zur Photolyse des bindemittelfreien Silberbromids“ (Silberbestimmung), Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1928. Bd. 26. S. 1.

H. H. Schmidt und F. Pretschner analysierten größere Mengen von Bromsilbergelatineemulsionen gewichtsanalytisch (gravimetrisch) mit größter Genauigkeit und fanden, daß das Silber und Brom nicht in völlig äquivalenten Mengen vorhanden sind und daß gleichfalls ein Überschuß von metallischem Silber in der unbelichteten Emulsion vorwaltet. Eine Beziehung zwischen dem überschüsigen Silber und den photogr. Eigenschaften (z. B. Empfindlichkeit) besteht nach den Untersuchungen von H. H. Schmidt und F. Pretschner nicht. (Siehe die neuere Arbeit Z. f. wiss. Photogr. 26, S. 259, 1929). Die überschüssige Silbermenge ist vielmehr direkt proportional der Reduzierbarkeit des betreffenden Halogensilbers und demnach bei Chlorsilber extrem hoch[1]) und bei Jodsilber extrem niedrig.

Über die Zusammenhänge dieses analytisch bestimmten Überschusses von Silber in photographischen Bromsilbergelatineemulsionen sind die Ansichten noch nicht abgeschlossen.

---

1) Trennt man die Bromsilbergelatine durch Zentrifugieren, in Bromsilber und Gelatine, so findet H. H. Schmidt, daß ein Teil des überschüssigen Silbers in der Gelatine hochdiapers verteilt ist, ohne an das sensible Bromsilberkorn gebunden zu sein. Es kann durch Dichromat-Schwefelsäure entfernt werden, ohne die Empfindlichkeit des Bromsilbers wesentlich zu schädigen (H. H. Schmidt, „Zur Photochemie des Halogensilbers“. Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1929, Bd. 65, S. 129).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

F. Weigert und F. Lühr bestimmten diese „Ursilbermengen“ quantitativ mit 0,1 bis 0,01% der gesamten Silbersalzmenge der Emulsion. Heinz Kieser ist der Ansicht, daß die Höhe des Analysenproduktes durch eine Fälschung infolge Schwefelsilberbildung beim Fixieren zu erklären sei (Zeitschr. f. wiss. Phot. 1929, Bd. 26, S. 305). In derselben Abhandlung äußert Kieser die Meinung, daß die quantitativ analytischen Untersuchungen von Schmidt und Pretschner, die mit großer Exaktheit durchgeführt wurden, wohl unzweifelhaft erwiesen hätten, daß Brom- und Chlorsilber-Gelatineemulsionen überschüssige Silbermengen enthalten.

S. E. Müller meint, daß das Bromsilber im Innern seines Kornes erhebliche Mengen an Silbernitrat eingeschlossen haben kann und diese Analysenbefunde verursache. Diese Erklärung trifft aber für 75% des in Chlorsilberemulsionen befindlichen überschüssigen Silber nicht mehr zu, da die von H. H. Schmidt und F. Pretschner ausgearbeitete Zentrifugiermethode (siehe oben) zweifellos ergeben hat, daß das überschüssige Silber aus 2 Komponenten besteht. 75% sind hochdispers in der Gelatine verteilt und nur 25% befinden sich im Rückstand. (Z. f. wiss. Photogr. Bd. 26, S. 259, 1929.)

c) Kolorimetrische Bestimmung sehr kleiner Silbermengen S. E. Sheppard und A. Ballard stellten im Kodak Forschungslaboratorium Versuche an. (Kommunikation Nr. 338; Monthly Abstract Bulletin Kodak Band XIV, S. 451) geben eine Methode an zur raschen und genauen Schätzung von sehr kleinen Mengen Silber (0,005 bis 0,40 mg) in photographischen Filmen. Es werden kleine Stücke von Filmen (weniger als 1 cm^2) an Stellen verschiedener Dichte sensitometrische Streifen herausgeschnitten (gestanzt). Die Stückchen werden während kurzer Zeit (zur Zerstörung der Gelatine) mit konzentrierter Schwefelsäure behandelt, dann einige Tropfen von Bromwasser beigefügt, um Silberbromid zu bilden und schließlich dieses Bromsilber in Ammoniakflüssigkeit aufgelöst. Durch Zusatz von Natriumsulfid wird diese Silberlösung in Schwefelsilber übergeführt. Die gelbliche Färbung von Schwefelsilber wird dann mittels eines Mikrokolorimeters mit einer Standardlösung von bekanntem Silbersulfidgehalt verglichen.

d) Elektrometrische Methoden der Silberbestimmung sind umständlicher, gestatten eine gute Halogentrennung.

Vgl. E. Müller, Die elektrometrische Bestimmung der Silberhalogenide in Filmen und Trockenemulsionen. Phot. Indust. 1924 Seite 3.

W. Clarc, „Electrometric Titration of Halides“ (Journ. Chem. Soc. 1926, S. 794. — Photographic Abstracts, Photogr. Soc. of Great Britain, 1926, S. 167). Die Methode Clarcs läßt 0,2% Jod im Bromid und ebenso einen Gehalt von Chlor im Bromid erkennen.

VI. Analyse von kleinen Jodmengen.

R. Luther berichtete im „Verein Deutscher Chemiker“ in Dresden (1928) über die Analyse von photographischen Trockenplatten, insbesondere über die Bestimmung kleiner Jodidmengen neben viel Bromid, und über die Bestimmung extrem kleiner Kupfermengen. (Nach Versuchen von Seidel, Leistner und Weiß.) Um trockene, jodsilberhaltige Bromsilbergelatine in Lösung zu bringen, empfiehlt sich die Verwendung von Lösungen benzolsaurer oder naphtasulfonsaurer Alkalisalze. Die abfiltrierten Silberhaloide werden durch höchstens zweimalige Behandlung mit einer thiosulfathaltigen Natriumsulfidlösung quantitativ in Schwefelsilber übergeführt. Im jodid-, bromid-, thiosulfat- und sulfidhaltigen Filtrat wird das Thiosulfat und Sulfid durch Wasserstoffsuperoxyd oxydiert. Die Trennung von Jodion und Bromion geschieht durch Permanganat in Gegenwart von indigosulfonsaurem Natron, das momentan von freiem Brom, nicht aber von freiem Jod oxydiert wird. Das mit Tetrachlorkohlenstoff quantitativ ausgeschüttelte Jod wird mit Thiosulfat titriert. Spuren von Kupferionen können annähernd quantitativ bestimmt werden durch ihre katalytische Wirkung auf mannigfache Reaktionen, vor allem solche, bei denen Sulfit bzw. Thiosulfat durch Ferrisalze, Wasserstoffsuperoxyd oder Persulfat oxydiert werden (Phot. Industr. 1928, S. 626. — Verein Deutscher Chemiker, Dresden, 31. Mai 1928).

VII. Untersuchung der Korngröße des Silberhaloids in Emulsionen.

Die Korngröße wird mittels des Mikroskopes sowohl beim Silberhaloid, als auch beim entwickelten Silberbilde untersucht. Man beachte, daß ein und dieselbe Emulsionsplatte Entwicklungsbilder mit verschiedener Größe des metallischen Silberkornes geben können (s. Seite 545) und daß Farbstoffbilder durch die Art des Entwicklungsvorganges in das Bild kommen können. Fast immer sind große und kleine Körner gemischt, namentlich bei Rapidemulsionen, wenig bei Diapositivplatten. Man mißt mitunter auch die Körnung äußerst dünn gegossener Emulsionsschichten, bei denen die übereinanderliegenden Kornschichten vermieden werden und keine Deckung der Körner mehr auftritt. Eventuell untersucht man die Körnung an den oberen Plattenschichten im Gegensatze zu der untersten und trennt die verschieden großen Körner von Emulsionen durch fraktioniertes Sedimentieren nach F. F. Renwick und V. B. Sease (Phot. Journ. 1924, S. 360; Phot. Indust. 1924, S. 727).

VIII. Prüfung der Oberfläche auf Gleichmäßigkeit und Reinheit.

Entwicklungspapiere werden zur Probe nicht allzulange gleichmäßig belichtet und dann entwickelt; es treten dann eventuell weiße

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Punkte oder schwarze Flecken auf. Unbelichtete Schichten verraten beim Entwickeln schädliche Schleierbildung. Auch das bloße Anlaufen der sensiblen Fläche am Lichte offenbart mitunter Fehler.

Bei Bromsilberpapier wird der Papierstoff geprüft und müssen Fehler der Barytage usw. beachtet werden. Näheres s. E. Valenta, Photographische Chemie und Chemikalienkunde, 2. Auflage, 1921, S. 153. — Prüfung von Auskopierpapieren, von Baryt usw. s. Wentzel, Die photographischen Kopierverfahren mit Silbersalzen. 1928 (Eders „Ausf. Handbuch der Photographie", IV, 1. Dritte Aufl.).

IX. Prüfung auf Haltbarkeit.

Photographische Schichten verändern sich auch bei sorgfältigem Lichtausschluß bald sehr rasch, bald mehr oder weniger langsam (mehrere Wochen, Monate oder Jahre). Die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt spielen dabei eine große Rolle. Man beschleunigt diese Selbstzersetzung durch Erwärmen. Kieser empfiehlt die Erwärmung bei 50° während mehrerer Wochen in einer Art Brutschrank. Vgl. die Prüfung von Zelloidin oder Filmen (Eder, Handbuch, Bd. III). Bei genaueren Proben wird auch die Luftfeuchtigkeit reguliert.

B. Komplette Darstellung der Eigenschaften photographischer Emulsionen.

Die Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen über die photographischen Eigenschaften einer Emulsion beweisen, daß viele Einflüsse in dem Zusammenhange zwischen photographischer Schwärzung und Entwicklung maßgebend sind und daß eine Reihe charakteristischer Werte zu bestimmen sind, um die Qualität einer photographischen Platte definieren zu können.

Bei der sensitometrischen Prüfung von photographischen Platten, Filmen und Papieren kommen insbesondere nachfolgende Punkte in Betracht:

1. Genaue Angabe, mit welcher Normallichtquelle die sensitometrischen Proben vorgenommen wurden und die Type des benützten Apparates.

2. Schwellenwert und zwar wahrer Schwellenwert und Schwellenwert der Kontraste (effektiver Schwellenwert, s. S. 28). Der Schwellenwert wird z. B. in Graden Scheiner oder Eder-Hecht oder in Sekunden-Meter-Kurven der Lichtenergie angegeben. — Berücksichtigung von Rapidentwicklern (Metol-Hydrochinon) und langsamer Tiefen-Entwickler (Pyrogallol-Entwickler).

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

3. Angabe der Inertia nach Hurter und Driffield und deren Empfindlichkeitszahl im dekadischen Logarithmus ausgedrückt, wie dies im Kapitel V. angegeben ist. (Das „Bureau of Standard“ in Washington wendet sich gegen die Willkürlichkeit von Hurter und Driffields Konstante 34 und empfiehlt das dekadische System mit der Konstante 10. — R. Davis und F. M. Walters, Scientif. Papers of the Bureau of Standards, Washington 1922, Bd. 18 S, 493; ferner T. Baker, Phot. Journ. 1925, S. 184 schließen sich dem an).

4. Bestimmung der Größe des Schleiers, bezogen auf die Art und Zeitdauer der Entwicklung unter Angabe des Gamma-Wertes.

5. Bestimmung der Schwärzungskurve bezogen auf die Dichte der Negative und den Logarithmus der Exposition oder Angabe von Skalen-Photometergraden von geometrischer Progression an Stelle des Log. Expos. (Scheiner-Grade, Eder-Hecht-Grade usw.). — Aufzeichnung der Schwärzungskurve für mindestens drei Entwicklungszeiten, die sich dem Zwecke und der Entwicklerart anpassen. Für gewöhnlich genügt eine Entwicklungsdauer von 2, 4 und 6 Min. mit Metol-Hydrochinon-Soda bei 18° C, um den Anstieg der Gradation zu erkennen.

6. Es soll die Zone der Unterexposition nächst dem Schwellenwert charakterisiert, der „Fuß der Kurve“ berücksichtigt und das annähernd gerade Stück der Kurve in der Zone der normalen Exposition gut erkenntlich gemacht werden, ebenso die Art des Abbiegens der geraden Stückes der Schwärzungskurve beim Übergang in das Gebiet der Überexposition, eventuell bis zur neutralen Zone (in der die Kurve nicht mehr weiter ansteigt) und vielleicht auch das Sinken der Kurve in der Periode der Solarisation bei übermäßig langer Belichtung.

7. Die Schwärzungskurve ist als Funktion von Gamma darzustellen (Verhältnis der Steigerung der Gradation zur Entwicklungsdauer): es empfiehlt sich, bei einer Versuchsreihe die Entwicklung so lange fortzusetzen bis keine Steigerung des Gamma mehr eintritt oder mit anderen Worten: die Entwicklung bis „Gamma unendlich“ zu verlängern; dies erfordert je nach der Entwicklungsart und der Temperatur z. B. 10, 15 bis 20 Minuten.

8. Der Spielraum der Belichtung in der normalen Periode der Exposition mit Berücksichtigung des Fußes der Kurve (s. Seite 55).

9. Prüfung auf Reflexions-Lichthöfe (Kennziffer der Lichthoffreiheit), abgeleitet vom Schwellenwerte der Lichthofbildung:

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ebenso Prüfung auf Diffusions-Lichthöfe (Irradiation) und Bestimmung der Größe des Auflösungsvermögens.

10. Schwellenwert der Solarisation.

11. Bestimmung der Koeffizienten (Belichtungs-Faktoren) von farbigen Lichtfiltern. — Prüfung der Farbenempfindlichkeit mit Sensitometern und mittels gut definierter farbiger Lichtfilter.

12. Untersuchung über den spektralen Verlauf der Farbenempfindlichkeit und Größe der Sensibilisierung mittels eines Spektrographen, wie auf Seite 211 uns durch zahlreiche Beispiele erläutert wurde.

C. Beispiele über den Befund und Beurteilung der Prüfungsergebnisse von Bromsilber-Gelatine-Platten.

Für die Bedürfnisse der photographischen Praxis, der Phototechnik, des Handels und für die meisten wissenschaftlichen Zwecke genügen gekürzte Angaben des Untersuchungsbefundes und der daraus zu ziehenden Schlußfolgerung.

Im Nachstehenden werden wir einige Beispiele solcher Befunde und Gutachten anführen, welche je nach Bedarf im Sinne der auf Seite 419 gemachten Ausführungen entsprechend ergänzt werden können:

1. Angabe der Herkunft des Plattenfabrikates, Emulsionsnummer, Spezialbezeichnung und Verwendungszweck.

Angabe der Art der Unterlage (Glasplatten, Filme, Papiere usw.) eventuell Bestimmung des Gewichtes, der Dicke von Unterlage und der sensiblen Schichte.

2. Bestimmung der Allgemeinempfindlichkeit. Diese erfolgt in unserem Beispiele mit dem Eder-Hecht-Sensitometer durch Abbrennen von 2 mg Magnesium in 3 m Entfernung in vorschriftsmäßiger Weise (als Mittelwert aus 5 bis 6 Probebelichtungen). Es empfiehlt sich nach dem Vorgange von K. Jacobsohn (Photographische Industrie) zum Vergleich eine Platte von bekannter, wiederholt nachgeprüfter Empfindlichkeit heranzuziehen. — Angabe des Normal-Entwicklers und der Entwicklertemperatur (18° C) und Entwicklungsdauer (bis zur beginnenden Schleierbildung usw.). Die Empfindlichkeitsangabe bezieht sich auf den effektiven Schwellenwert (Schwellenwert der Gradation), dort wo die Sensitometergrade einen Unterschied der Schwärzung aufzuweisen beginnen (siehe IV. Kapitel), dies entspricht annähernd der Dichte 0,1 bis 0,2 über dem Entwicklungsschleier.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Beispiel eines Befundes: 80° Eder-Fecht = 15° Scheiner.

Beispielsweise Schlußfolgerung: „Das Ergebnis bestätigt die Angaben des Fabrikanten. „. . .„ . . entspricht den Anforderungen einer . . . Platte für Landschaftsphotographie usw. . . .“.

Im Sinne der Internationalen Kongreßbeschlüsse erscheint es empfehlenswert, daß der Versuchsansteller auch eine Sensitometerprobe mit dem auf mittleres Mittagssonnenlicht zurückgeführten Magnesiumlicht macht (Filterung des Magnesiumlichtes durch Kupfer-Kobaltlösung mit 4 mg Magnesium im Abstande von 3 m, siehe XVI. Kapitel, Seite 346.

3. Farbenempfindlichkeit.

Zunächst wird die Farbenempfindlichkeit mit dem Eder-Hecht-Sensitometer untersucht, und zwar mit Magnesiumlicht oder in Ergänzung mit künstlichem mittleren Mittagssonnenlicht siehe XVI. Kapitel, oder über spezielle Wünsche mit anderen Lichtquellen, vielleicht auch mit der Hefnerkerze. Die Sensitometeranzeigen sind auf die ideale 100%ige Transparenz der Lichtfilter zu reduzieren.

Die verwendeten Entwickler sind anzugeben, eventuell die Benützung von Desensibilisatoren.

Beispiel eines Befundes:

	Lichtfilter		
	Blau	Grün	Gelb
Grade Eder-Hecht bei Magnesiumlicht:	58°	50°	70°
Relative Empfindlichkeit hinter den Lichtfiltern	1	0,47	3
Wahre Farbenempfindlichkeit, berechnet auf 100prozentige Filtertransparenz	1	1	1,2

Hinter dem roten Lichtfilter ergab sich eine geringe Schwärzung.

Befund:

Die Platte ist eine für Grün und den Beginn des Gelb sensibilisierte Platte (Typus orthochromatische Erythrosinplatte). Die Empfindlichkeit gegen Grün (Grüngelb) ist sehr hoch. Der Sensibilisierungsfaktor Blau gegen Gelb ist somit sehr hoch. Eventuell weitere Schlußfolgerungen: Infolge der hohen Farbenempfindlichkeit ist die Anwendung einer Gelbscheibe in den meisten Fällen nicht erforderlich. Sie wirkt sich auch bei Verwendung von Gelbfiltern in sehr kurzen Verlängerungsfaktoren der Belichtungszzeiten aus.

---

1) Über die Reduktion von Sensitometeranzeigen bei der Prüfung farbenempfindlicher Platten, bei Magnesiumlicht auf das Verhalten anderer Lichtquellen s. Seite 350, insbesondere die Zurückführung auf die Farbenverteilung im mittleren Sonnenlicht.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

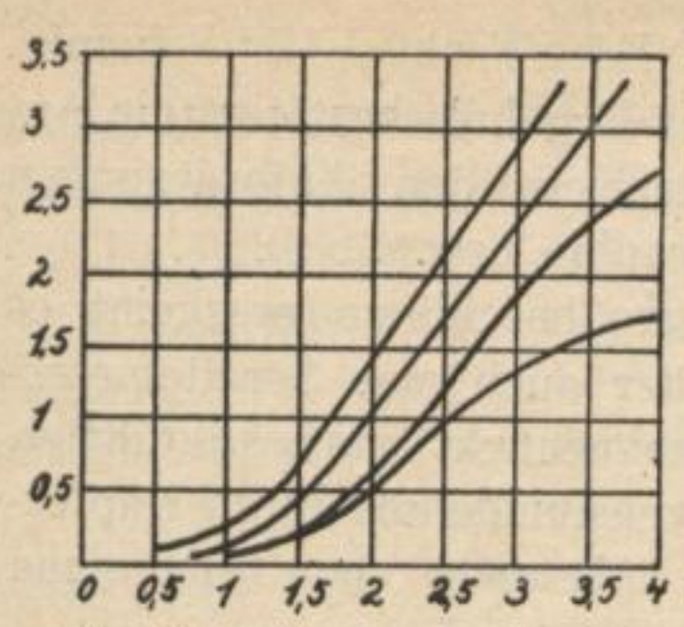


Abb. 197. Gradation einer geprüften Platte für 2, 4, 6 und 8 Minuten Entwicklungsdauer.

4. Gradation. Die Gradation der Platten wird für drei oder vier verschieden lange Entwicklungszeiten bei einem gegebenen Entwickler bestimmt.

Beispiel: Eine orthochromatische Platte zeigt im gewöhnlichen Metol-Hydrochinon-Entwickler für 2, 4, 6 und 8 Minuten Entwicklung folgende mittelst des Goldbergschen Densographen ermittelten Schwärzungskurven (Abb. 197), welche wir in Photogr. Industrie 1929, einem Gutachten K. Jacobsohns S. 35, entnehmen.

Aus diesem Befund leitet sich folgendes Gutachten ab: Die vorliegende Platte arbeitet ausgesprochen kontrastreich, ohne jedoch bei sachgemäßer Entwicklung zu harte Bilder zu geben. Der ausgedehnte geradlinige Teil der Kurve zeigt, daß die Platte einen guten Belichtungsspielraum gewährt.

5. Schleierbildung. Die unter Punkt 4 erwähnten Proben mit 2, 4, 6 und 8 Min. langer Entwicklung dienen auch zur Messung (eventuell kurvenmäßiger Darstellung) der Schleierbildung. Die obenerwähnte orthochromatische Platte arbeitete in hohem Grade schleierlos (gibt sehr schleierlose Negative). Den Zusammenhang zwischen den aus der vorhin angegebenen Kurve ermittelten Werten für das Gamma und die Schleierbildung zeigt folgende Tabelle:

Entwicklungszeit	Gamma	Schleierdichte
2 Minuten	1	0,05
4 „	1,2	0,05
6 „	1,4	0,05
8 „	1,45	0,1

6. Schlußfolgerung: Die erwähnte orthochromatische Platte zeigt für Metol-Hydrochinon-Entwickler (Temperatur 18° C) eine so geringe Schleierdichte, daß sie praktisch gleich Null ist; selbst bei 8 Minuten langer Entwicklung tritt keine bemerkenswerte Schleierbildung ein.

Ein anderes Beispiel zeigt die Untersuchung einer nicht farbenempfindlichen ultrarapiden Porträtplatte mit Rodinal-Entwickler

(1:20) nach C. Emmermann und K. Brandt (Phot. Chronik, 1928, S. 419). Gesamtempfindlichkeit bei Magnesiumlicht:

106° Eder-Hecht = 26° Scheiner

bestimmt am Schwellenwert.

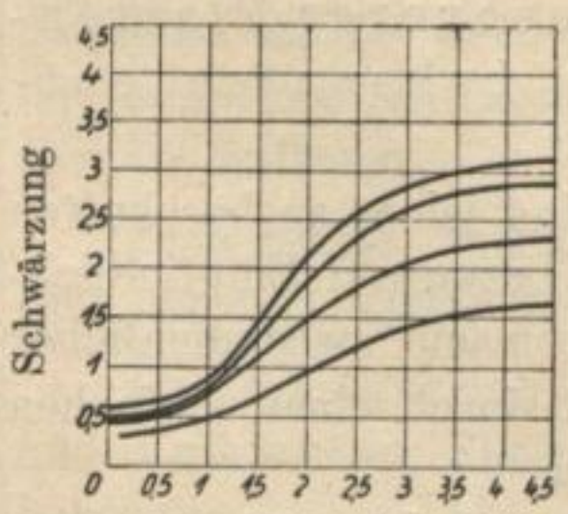
Die Schwärzungskurven wurden für die Entwicklungszeit von 3, 6, 9 und 12 Minuten bestimmt, und ergaben folgende Resultate.

Entwicklungszeit	Gamma	Schleierdichte
3 Minuten	0,53	0,13
6 „	0,78	0,45
9 „	1,1	0,52
12 „	1,3	0,60

Aus diesem Befund ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

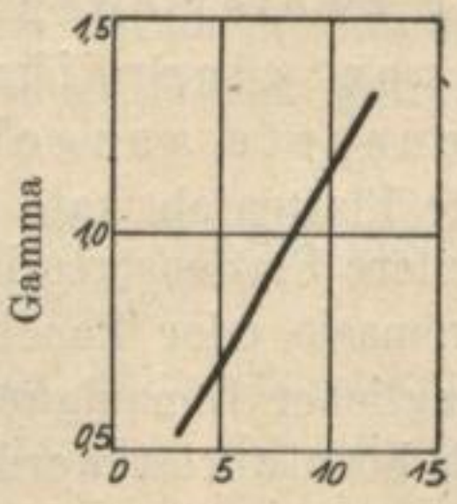
Die geprüfte Platte, welche unter dem Farbensensitometer sich frei von jeder Farbensensibilisierung ergab, ist zu den höchstempfindlichen Fabrikaten von blauempfindlicher Gelatine-Emulsion zu zählen.

Die densographische Untersuchung zeigte, daß das geradlinige Stück der Gradationskurve bald in das gekrümmte Gebiet der Überbelichtung umbiegt, d. h. daß die Platte auf stärkere Überlichtungen der Lichter reagiert (Abb. 198). Diese Gefahr besteht jedoch im allgemeinen nicht, wenn man diese Ultra-Rapid-Platte zu Momentaufnahmen oder sehr kurzen Momentaufnahmen verwendet. Hier kommt es vor allem auf die höchste Empfindlichkeit an, in deren Interesse man eine nicht gerade ideale Gradition mit in Kauf nimmt. C. Emmermann folgert dies mit Recht aus dem von ihm gefundenen und in Abb. 198 wiedergegebenen Gradationskurven, welche Aufnahmen auch zur Bestimmung des Gamma und der Schleierdichten dienten.



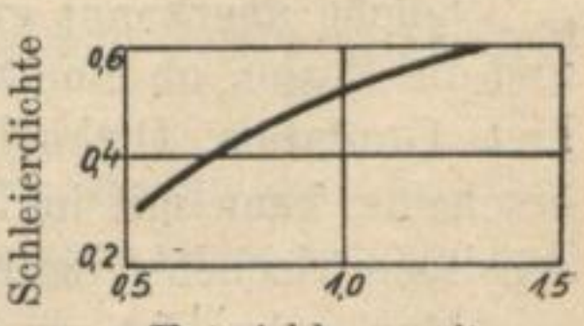
log Exposition.

Abb. 198.
Schwärzungskurven bei 3 bis 12 Min. langer Entwicklung



Entwicklungsdauer.

Abb. 199.
Gamma bei verschieden langer Entwicklung.



Entwicklungszeit.

Abb. 200.
Zunahme des Schleiers bei verlängerter Entwicklung.

Die Schleierbildung ist bei verlängerter Entwicklung stark bemerklich, jedoch arbeitet die Platte praktisch genügend klar; dennoch

empfiehlt es sich, sie nicht im Entwickler zulange zu quälen, sondern im Bedarfsfalle ein kräftig arbeitendes Kopiermaterial zu verwenden.

Wegen der hohen Allgemeinempfindlichkeit muß die Platte in der Dunkelkammer mit einiger Vorsicht behandelt werden.

Den Zusammenhang des Gamma mit der Entwicklungsdauer zeigt Abb. 199; die Schleierkurve ist in Abb. 200 für die geprüfte ultrarapide Emulsionsplatte nach Emmermann und Brandt dargestellt.

Anderes Beispiel der Prüfung orthochromatischer Platten.

Mit Bezug auf die im XX. Kapitel S. 419 gegebenen Ausführungen geben wir ein Beispiel der relativen Prüfung verschiedener orthochromatischer Platten — nach Jacobsohn, die mit der eigenen Erfahrung Eders übereinstimmen.

Tabelle des Verhaltens verschiedener orthochromatischer Platten nach K. Jacobsohn (Phot. Industr., S. 296, März 1929).

Bezeichnung	Grade E. H. Blau : Gelb		Gesamtsensibilisierung	Gelbfilter Verlängerungsfaktor[1])	Aufnahme der Höchster Farbtafel
Höchst orthochromatisch	50°	60°	1	2	Gelb heller als Blau
gut orthochromatisch	50°	50°	0,5	3	Gelb gleich Blau
mittel orthochromatisch	50°	40°	0,2	3,5—4	Gelb dunkler als Blau
schwach orthochromatisch	50°	20°	0,005	10—15	Gelb nahezu schwarz

D. Kurzer Gang der orientierenden sensitometrischen Prüfung photographischer Platten für Amateure und kleine photographische Betriebe.

Der praktische Photograph und Amateur ist selten in der Lage, eine komplette Plattenprüfung vorzunehmen, sondern er begnügt sich mit der Vergleichung zweier oder mehrerer Plattensorten, wobei er von einer ihm bekannten entsprechenden Plattensorte ausgeht.

Solche anerkannt gute Plattenfabrikate sind leicht zu beschaffen und die Frage, ob eine andere Plattensorte in bezug auf Empfindlichkeit, Gradation, Orthochromasie oder Panchromasie zweckdienlicher erscheint, kann mit hinlänglicher Genauigkeit durch einen einfachen sensitometrischen Versuch beantwortet werden.

Man schneidet zunächst aus einer Platte (bei möglichst vollkommenen Ausschluß von schädlichem, falschem Lichte) mehrere Streifen, die man als Vergleichsobjekt benützen will.

Hierbei geht man am besten von einer gewöhnlichen, blauempfindlichen Bromsilber-Gelatineplatte aus. — Diesen Standardstreifen

1) „Mittleres Gelbfilter“ von der Filtergelbdichte 1,0.

prüft man neben der zu untersuchenden Plattensorte in einem Parallelversuch bei einer gegebenen Lichtquelle, am besten durch Abbrennen eines Blättchens Magnesiumband in der auf Seite 375 angegebenen Weise in 3 m Abstand.

Bequem ist die Verwendung des Eder-Hecht-Graukeil-Sensitometer mit doppelter Farbskala, wie es auf Seite 399, Abb. 129 dargestellt ist, weil bei demselben beiderlei Platten nebeneinander eingelegt und gleichzeitig belichtet werden können.

Man entwickelt dann die zwei Streifen gleichzeitig mit einem Metol-Hydrochinon-Entwickler von ungefähr 18° C, während etwa 5 bis 7 Minuten, oder mit einem anderen Normalentwickler (s. S. 137).

Auf diese Weise findet man den für die Praxis in Betracht kommenden Schwellenwert unter den jeweiligen für die Platten günstigsten Umständen für den gegebenen Entwickler. — Die Platten werden gleichzeitig aus dem Entwickler genommen, kurz gewaschen und im sauren Fixierbad fixiert. — (Gutes Bewegen und Schaukeln der Flüssigkeiten.)

Als der „Schwellenwert oder als Empfindlichkeit der Platte“ gilt die letzte eben noch sichtbare Bildspur. (Näheres siehe S. 27) und daran anschließend der „Schwellenwert der Kontraste“ (s. S. 29).

Vergleicht man die Sensitometer-Skalen zweier Plattensorten durch Übereinanderlegen (mit der Schichtseite) der Streifen, so ist bei gleichem Schwellenwert diejenige Plattensorte praktisch die empfindlichere, welche die daran anschließenden schwächeren Sensitometerfelder besser gedeckt und deutlicher voneinander getrennt zeigt; diejenige ist die weichere, weche die intensivsten Sensitometerfelder im langsamen Anstieg noch besser getrennt (einigermaßen transparent) aufweist.

Jene Platte, welche eine rascher ansteigende Schwärzungsskala gibt, ist die „härter arbeitende“.

Die Konstruktion der Schwärzungskurve ist für den Amateur und praktischen Photographen zur allgemeinen Orientierung entbehrlich.

Dieselben bei obigem Versuche gewonnenen Vergleichsplatten geben auch ein Bild über die eventelle Schleierbildung. (Vergleiche hierüber auf Seite 155.)

Sind die Empfindlichkeiten schleieriger Platten mit schleierlosen praktisch zu vergleichen, so kopiert man beide gleichzeitig auf

Papier und erkennt dann an der Kopie den praktischen relativen Empfindlichkeitkeitsgrad in bezug auf die Kopierfähigkeit.

Wenn die Standardplatte eine gewöhnliche blauempfindliche Bromsilbergelatineplatte war [1]), so kann man auch aus dem oben erwähnten einfachen Parallelversuch durch Ablesung der Sensitometeranzeige hinter dem farbigen Sensitometerstreifen erkennen, ob die zu prüfende Platte orthochromatisch oder panchromatisch ist.

Man liest das Verhältnis der Empfindlichkeit hinter dem Blaufilter zum Gelbfilter ab (siehe Seite 271 und 418), und findet dann entweder annähernd die für reines Bromsilber oder Jodbromsilber geltende Verhältniszahl (siehe Tabelle S. 418), oder man bemerkt einen starken Anstieg der Empfindlichkeit hinter dem Gelbfilter bei fehlender oder sehr geringer Rot-Empfindlichkeit, da die fragliche Platte „orthochromatisch“ war; kommt auch eine bemerkenswerte Rot-Empfindlichkeit dazu, so war die Platte „panchromatisch“ (Näheres siehe Seite 413 und 420).

Es empfiehlt sich, zur praktischen Beurteilung der relativen Empfindlichkeit zweier Platten nicht nur die letzte Bildspur (Schwellenwert) allein abzulesen, sondern ein größeres Stück der Schwärzungsskala in den Vergleich zu ziehen, um zu erkennen, welche Platte in den schwachen Lichtern bessere kräftige Deckung gibt. Bei diesem Vorgang kann man auch leicht erkennen, welche Platte weich und welche hart arbeitet.

Die Ablesung hinter den gelben Sensitometerstreifen des Eder-Hechtschen Sensitometers ergibt nicht nur den Sensibilisierungsfaktor, sondern auch die Lichtschwächung durch ein mittleres Gelbfilter bei Landschaftsaufnahmen.

Ebenso kann man verschiedenartige Lichtfilter (Filterfaktoren) bei Tageslicht prüfen.

In ganz analoger Weise können die relativen Empfindlichkeiten verschiedener Plattensorten gegenüber elektrischem Bogenlicht, Metallfadenlampen usw. geprüft werden.

Für genauere Studien ist die Benützung eines Martens'schen Polarisations-Photometers (siehe Seite 463) unentbehrlich. Die Verwendung

---

1) In zweifelhaften Fällen soll man sich hierüber bei der Trockenplattenfabrik erkundigen, weil mitunter auch gewöhnliche Porträt- und Landschafts-Platten mit kleinen Farbstoff-Zusätzen versehen werden, die allerdings keine besonders kräftige Orthochromasie erzeugen, aber immerhin die relative Empfindlichkeit bei Blau- und Gelbfilter beeinflussen können. — Man kommt übrigens von selber auf solche Abweichungen bei der Konstatierung dieser Relation hinter den Farbfiltern.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

eines Hartmannschen Mikrophotometers ist wohl nur in vollständig eingerichteten Laboratorien möglich. Man kann damit Schwärzungskurven mit dem Scheiner-Sensitometer[1]), dem Eder-Hecht-Sensitometer oder anderen Sensitometern mit hinlänglich großen Schwärzungsfeldern vornehmen, und in das Koordinatennetz auf der Horizontalen unmittelbar Scheinergrade (vgl. solche Kurven auf S. 46 und 490) oder Eder-Hechtgrade (s. S. 43) eintragen und unter sich vergleichen. — Eventuell wird man sich eines Goldbergschen Densographen bedienen.

Am besten ist es, solche Lineaturen auf das Hurter- und Driffieldsche Netz (S. 45 und 50) zu beziehen, was auch bei Goldbergs Densogrammen der Fall ist; dann erhält man die in der Literatur so vielfach gebrauchten Normalzahlen für den Wert des Gamma streng im Sinne Hurter und Driffields.

E. Spektrographische Prüfung.

Die Prüfung farbenempfindlicher Platten ist wohl nur dann vollständig, wenn man sie durch spektrographische Aufnahmen bei Sonnenlicht oder einer anderen wohl definierten Lichtquelle (Azetylenlicht, Gaslicht, elektrisches Licht von kontinuierlichem Spektrum, oder eine Halbwatt-Projektionslampe) ergänzt. Bei geringeren Anforderungen genügt ein Spektralapparat à vision directe, bei höheren Anforderungen Spektrographen von etwas größerer Dispersion (s. S. 223), zum Studium der Ultraviolett-Empfindlichkeit: Quarzspektrographen mit Quecksilberquarzlicht oder Funkenspektren (am besten nach Eder der Flaschenfunke von stiftförmigen Tantal-Elektroden), welche eine dichte und gleichmäßige Linienverteilung geben, wie in dem „Atlas typischer Spektren“ von Eder und Valenta, 3. Aufl. 1928, Verlag d. Akad. d. Wissensch., Wien), ersichtlich ist. — Man beachte die Verwendung geeigneter Tageslichtfilter.

F. Zulässige Fehlerweite oder Toleranz in der praktischen Sensitometrie.

Zulässige Fehlerweite bei praktischen sensitometrischen Proben. Die Sensitometrie ist ein wichtiges Hilfsmittel zur technischen Prüfung der photographischen Platten usw. bei der Überwachung der Emulsionsfabrikation, ferner im Handel, zur Charakteristik der Photomaterials sowie zur Be-

1) Die Prüfung von Platten und Papieren mittels des Scheinerschen Mehrfarbensensitometers s. Wentzel, Bd. III dieses Handbuches, S. 449.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

urteilung seiner Empfindlichkeit und Gradation in der angewandten Photographie. Diese Angaben sind dem Händler und dem Konsumenten von Interesse; es genügt für die praktischen Bedürfnisse, wenn aus den gegebenen Kennwerten verschiedener Plattensorten die Belichtungszeiten annähernd ermittelt werden können, um innerhalb des sog. Spielraumes der Belichtung brauchbare Negative zu erhalten. Unter diesem Gesichtspunkt sind Fehler in der sensitometrischen Empfindlichkeitsmessung von 30—40% oder Abweichungen von etwa 2 Graden Eder-Hecht bei technischen Proben zulässig, somit die Toleranz ziemlich groß. Für wissenschaftliche Zwecke werden viel höhere Anforderungen gestellt, die sich den jeweiligen Aufgaben anpassen.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

FÜNFUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

DIE SENSITOMETRISCHE PRÜFUNG DER EIGNUNG VON FARBSTOFFEN ALS SENSIBILISATOREN UND DESENSIBILISATOREN.

Die Beantwortung der Frage, ob ein Farbstoff ein brauchbarer Sensibilisator sei, erfordert die Beachtung zahlreicher Nebenumstände bei der Prüfung ihrer Wirkung auf die photographische Platte.

Zunächst ist die Qualität der photographischen Platte (Bromsilbergelatine, Chlorsilber mit Entwicklung, Bromsilberkollodiumemulsion, eventuell Prüfung beim Auskopierprozeß z. B. mit Chlorsilbergelatine bei Gegenwart eines Bromakzeptors usw.) streng festzustellen.

Nehmen wir den gewöhnlichen Fall an, daß es sich um Sensibilisierung von Bromsilbergelatineplatten für Negativaufnahmen handelt, soll man nicht nur Rapidplatten, sondern auch die wenig empfindliche, feinkörnige Emulsion für photomechanische Aufnahmen in den Prüfungsgang einbeziehen.

Der zu prüfende Farbstoff ist auf sein günstiges Auflösungsmittel (Wasser, reiner oder verdünnter Alkohol, Methylalkohol, Azeton usw.) zu prüfen. Wenn wässerig-alkoholische Farbstofflösungen in Betracht kommen, so ist in der Regel für das Badeverfahren von Bromsilbergelatine-Trockenplatten ein Gemisch von 1 Vol. Alkohol und 2—3 Vol. Wasser am besten.

In allen Fällen stellt man eine konzentriertere Vorratslösung her, etwa 1:500 oder 1:1000, mischt dann auf je 100 ccm destillierten Wassers progressiv z. B. 1, 2, 4, 6 ccm usw. Farbstofflösung, badet darin die Bromsilbergelatineplatte etwa 3—4 Minuten lang und trocknet sie dann hochgestellt auf Fließpapier, am besten in einem Ventikator. Dann prüft man im Eder-Hecht-Sensitometer oder einem anderen mit genau bekannten Lichtfiltern bei Magnesiumlicht oder dem Lichte einer Hefnerschen Amylazetatlampe, die für die Wahrnehmung geringer Rot- oder Gelb-Sensibilisierung besonders

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

günstig wirkt und stellt im Doppelsensitometer einen Parallelversuch mit der ungefärbten Mutterplatte an. Letztere wird bei genauen Versuchen ebensolang in reinem destilliertem Wasser gebadet, oder in anderen verwendeten Flüssigkeiten, um den sog. Wasser-Effekt zu eliminieren.

So findet man die optimale Farbstoff-Konzentration, die für viele Farbstoffe der Eosinreihe, für Chinolin- und Chinaldin-Farbstoffe usw. sehr gering, für natürliche vegetabilische und animalische Farbstoffe und auch für manche künstliche Farbstoffe aber häufig sehr groß sein kann.

Die sensibilisierende Wirkung mancher Farbstoffe wird durch Zusatz von etwa 1% Ammoniak vom spez. Gew. 0,91 stark erhöht (Eosin-Farbstoffe, Zyanin u. a.), bei anderen Farbstoffen (Pinachrom und verwandten) nicht oder wenig, dagegen stärkere Schleierbildung und verminderte Haltbarkeit verursacht. Mitunter wirken schwache Alkalien (wie Borax) günstig. Manche Farbstoffe werden durch Säuren (Essigsäure, Kohlensäure) entfärbt, erlangen aber beim Trocknen und Verdunsten der Säure eine gute Sensibilisierung (Zyanin, Pinachromviolett). Gewisse Farbstoffe erfahren durch Zusatz von Silbernitrat oder ammoniakalischer Chlorsilberlösung eine namhafte Steigerung der Gesamtempfindlichkeit und der relativen Farbenempfindlichkeit (Eosinsilber), andere nicht. Die Haltbarkeit solcher Platten ist speziell zu prüfen, denn sie ist oft gering.

Manche Lösungen von Farbstoffen erteilen den in ihnen gebadeten und getrockneten Platten eine gute Farbenempfindlichkeit, aber ihre Haltbarkeit ist viel geringer, als wenn man sie nach dem Baden einigemal mit destilliertem Wasser abspült und dann erst trocknet. Man muß alle diese Umstände berücksichtigen, bevor man ein Urteil abgibt.

Bei der Prüfung der Platten mittels des Farben-Doppel-Sensitometers, bei Magnesiumlicht achte man ganz besonders darauf, ob sich die Blauempfindlichkeit gegenüber der ungefärbten Mutterplatte gesteigert oder vermindert hat, oder ob diese unverändert blieb. Dies läßt sich sensitometrisch leicht feststellen. Diese Umstände sind sehr wichtig für die Charakteristik eines Sensibilisators, werden aber leider bei der Prüfung häufig vernachlässigt. Manche Farbstoffe beschleunigen den Entwicklungsprozeß [1]) und täuschen

1) Diese Beschleunigung der Entwicklung zeigt sich nicht nur bei Verwendung gewöhnlicher Entwickler bei der mit Farbstoff gebadeten Platte, sondern mitunter auch, wenn man denselben Farbstoff dem Entwickler zusetzt und eine gewöhnliche

manchesmal eine Empfindlichkeitserhöhung vor (Chrysanilin), wie bei genügend langer Entwicklung der Kontrollplatte sich als nicht (oder in geringerem Grade) vorhanden erweist.

Man muß bei der Prüfung wohl unterscheiden zwischen der relativen Farbenempfindlichkeit (bezogen auf Blau) und der Gesamtempfindlichkeit gegen weißes Licht, die für die praktische Belichtungszeit in der angewandten Photographie entscheidend ist.

Beispielsweise erteilt das Zyanin der Bromsilbergelatine in Form eines Farbstoffbades eine relativ hohe Empfindlichkeit gegen Orangerot und Gelb (gegenüber Blau), aber solche Platten erfordern eine etwa zehnmal längere Exposition als die ungefärbte Platte. Noch auffälliger ist das Verhalten des Phenosafranins, das bekanntlich einer der wirksamsten Desensibilisatoren ist, aber im Spektrographen mit direktem Sonnenlicht bei reichlicher Belichtung als ein Sensibilisator für Grün zu erkennen ist.

Bei Prüfungen von Sensibilisatoren wird man also im Farbensensitometer die Empfindlichkeitsrelation hinter dem grünen, roten und gelben Filter bezogen auf Blau als Einheit angeben und hierbei den Sensibilisierungsfaktor gegenüber der Blauempfindlichkeit suchen (s. Seite 418); aber andererseits wird man auch die Empfindlichkeit der reinen Bromsilberplatte hinter dem Blaufilter mit der sensibilisierten Platte vergleichen, ebenso das Empfindlichkeitsverhältnis beider bei weißem Licht, Lampenlicht usw. Die Prüfung von reiner Chlorsilbergelatine, wie sie bei manchen Diapositivplatten oder Gaslichtpapieren vorliegt, kann (für den Hervorrufungsprozeß) mitunter von Interesse sein [1]), weil

(nicht im Farbbade gebadete) Platte benutzt (z. B. Chrysanilin). Diese Erscheinung wurde zuerst von Eder beobachtet und beschrieben (Eder, „Über die Wirkung verschiedener Farbstoffe auf das Verhalten des Bromsilbers gegen das Sonnenspektrum". Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien, mathem.-naturw. Klasse, Dez. 1885. — Abgedruckt in Eder u. Valenta, „Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse", 1904, III. S. 34). Andere Farbstoffe verzögern die Entwicklung und wirken schleierwidrig oder als Desensibilisatoren, andere bewirken starke Schleierbildung.

1) Die Sensibilisierungsbänder von Farbstoffen auf Bromsilber- und Chlorsilbergelatine mit Entwicklung liegen im Spektrogramm annähernd an derselben Stelle, ebenso die Sensibilisierungsmaxima, worauf J. M. Eder zuerst aufmerksam machte (Sitzungsberichte d. Akad. d. Wissensch. in Wien 1884; abgedruckt in Eder u. Valenta, Beiträge zur Photochemie u. Spektralanalyse. 1904. III. S. 17 u. 57) und in seiner Abhandlung „Photometrische Versuche über die sensibilisierende Wirkung von Farbstoffen auf Bromsilber u. Chlorsilber" (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien, 1885) näher ausgeführt.

bei Verwendung gewisser Lichtquellen eine Abkürzung der Exposition mit Farbensensibilisator erreicht werden kann.

Verwendet man gewaschene Chlorsilbergelatine (ohne Silberüberschuß) nach Zusatz von Natriumnitrit usw. als Auskopierpapier für Photometerzwecke (s. S. 127), so ist z. B. Pinaflavol ein gewaltiger Sensibilisator für Grün und Gelb, das (für Bromsilber mit Entwicklung hervorragend sensibilisierende Pinaverdol ist aber kein Sensibilisator, sondern wirkt als Desensibilisator. Man darf also aus dem Verhalten eines Sensibilisators beim Entwicklungsverfahren keinen Rückschluß auf sein Verhalten im Auskopierprozeß machen, sondern muß die sensitometrische Prüfung vornehmen.

Wo möglich sollen auch spektrographische Prüfungen mit Sonnenlicht vorgenommen werden, wobei als teilweiser Ersatz auch andere künstliche Lichtquellen dienen können, deren Effekt im Kap. XVI. beschrieben ist.

Hierüber wurde im vorhergehenden Texte ausführlich berichtet und hier soll nur zwecks Einhaltung eines richtigen Prüfungsganges aufmerksam gemacht werden.

Bromsilberkollodien müssen ganz besonders behandelt werden, worauf bereits im II. Band zweiter Teil dieses Handbuches: Eder, Die Photographie mit dem Kollodiumverfahren, 1927, sehr eingehend hingewiesen wurde.

Die spektrometrische Untersuchung der Wirkung von Farbstoffen auf Brom- u. Chlorsilbergelatine, daß die Sensibilisierungsmaxima nur annähernd an derselben Stelle des Spektrums liegen, aber in Wirklichkeit kleine Verschiebungen der Lage Maxima um einige wenige Angströmsche Einheit nachweisbar sind, dagegen Empfindlichkeits-Minima oft starke Differenzen aufweisen, s. Eder, „System der Sensitometrie photographischer Platten". III. Abhandlung. Sitzungsbericht der Akad. d. Wissensch. in Wien, Juli 1901. — Abgedruckt in Eder u. Valenta, Beiträge zur Photochemie u. Spektralanalyse 1904, II. S. 136. Im allgemeinen lassen sich Chlorsilbergelatine u. auch das feinkörnige unreife Bromsilber leichter und kräftiger mit Farbstoffen sensibilisieren, als das grobkörnige Bromsilber von Rapidemulsionen.

Sensitometrie der Desensibilisierung.

Die Verringerung der Empfindlichkeit einer Trockenplatte durch die Desensibilisatoren[1]) ist zuerst von Lüppo-Cramer in seinen grundlegenden Arbeiten über die Hellichtentwicklung[2]) sensito-

---

1) Dieses Handbuch Bd. II 1, S. 679. Lüppo Crmer.

2) Lüppo-Cramer, Negativentwicklung bei hellem Lichte, II. Aufl. Leipzig 1922, S. 125.

metrisch mit Hilfe des Eder-Hecht-Sensitometers gemessen worden, worin ihm später andere Autoren folgten [1]).

Zur Bestimmung der desensibilisierenden Kraft eines Farbstoffes badet man die Platte etwa 2 bis 3 Minuten lang in der Lösung des Farbstoffes 1:20 000 oder 1:10 000, trocknet die Platte und belichtet sie neben der ungefärbten Kontrollplatte im Sensitometer. Da es hier nur auf die relativen Verhältnisse ankommt und der Betrag der Desensibilisierung unter Umständen so groß ist, daß auf der gefärbten Platte unter den normalen Belichtungsverhältnissen überhaupt kein Eindruck entwickelbar ist, so belichtet man zweckmäßig erheblich länger, bzw. bei einer größeren Lichtintensität als in der Sensitometrie sonst üblich. Für die Empfindlichkeitsverringerung ist in diesem Falle ausschließlich der Schwellenwert maßgebend. Die Bestimmung an den getrockneten Schichten kann aber nicht immer als endgültig entscheidend für das Maß der Desensibilisierung in der Praxis angesehen werden, da die Empfindlichkeitsverringerung im nassen Zustande der Platte meist noch erheblich größer ist als im Trocknen [2]), und es sogar Farbstoffe gibt, die überhaupt nur im nassen Zustande eine desensibilisierende Wirkung ausüben [3]). Um die Desensibilisierung im nassen Zustande der Platte zu bestimmen, legt man zweckmäßig zur Schonung der Skala zwischen nasse Platte und Skala ein dünnes Blatt von Zelluloid. Die Prüfung der Desensibilisierung bei bekannten Desensibilisatoren kann erfolgen, indem man bei gelbem Lichte entwickelt. Handelt es sich aber um Prüfung von unbekannten Farbstoffen und deren desensibilisierende Wirkung, so ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß manche Desensibilisatoren ihre Wirkung infolge Reduktion durch das Sulfit im Entwickler verlieren. Will man also derartige Farbstoffe zahlenmäßig auf ihr Desensibilisierungsvermögen prüfen, so muß man bei rotem Lichte entwickeln. Derartige Desensibilisatoren, z. B. das Fuchsin, haben natürlich praktisch keinen Wert [4]).

---

1) Z. B. Stenger und Stammreich, Zeitschr. f. wiss. Phot. Bd. 23, S. 11 (1924).

2) Lüppo-Cramer, Negativentwicklung bei hellem Lichte, I. Aufl. S. 55.

3) A. Steigmann, Phot. Industrie 1927, Nr. 47, S. 1287 und 1353; Lüppo-Cramer, ebenda, K. Weiß und K. Jacobsohn, Phot. Industrie 1927, S. 1353.

4) Lüppo-Cramer, „Grundlagen der photographischen Negativverf." Eders Handbuch Bd. II, 1, Halle 1927, S. 687.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Bestimmung des Desensibilisierungsgrades bei dem üblichen Sensitometerlichte kann indessen auch nur einen vorläufigen Anhalt für die Beurteilung ergeben, da ja niemand bei weißem Lichte entwickeln wird. Maßgebend wäre nur eine Bestimmung bei dem Lichte, das für die Beleuchtung der Dunkelkammer in Anwendung kommen soll und in dieser Beziehung wird bei den Prüfungen im Eder-Hecht-Sensitometer die Beachtung der Empfindlichkeitsverringerung unter den gelben und grünen Streifen einen Anhalt geben können. Unter dem roten Streifen kann unter Umständen (namentlich bei bestimmten schleierigen Platten) der Herscheleffekt schon ein positives (Ausbleich-) Bild geben [1]).

Die sensitometrische Prüfung der Wirkung von Desensibilisatoren auf farbenempfindliche Platten erfordert die Berücksichtigung von Nebenerscheinungen wie folgendes Beispiel (nach H. H. Schmidt, Zeitschr. f. wissensch. Phot. Bd. 65. S. 130) zeigt: Die Herabsetzung der Empfindlichkeit durch ein Phenosafranin-Vorbad ist bei allen untersuchten Halogensilbern, was auch schon Lüppo-Cramer gefunden hat, im allgemeinen eine Funktion der Empfindlichkeit. Daneben ist aber auch eine Beziehung zur Halogensilberart unverkennbar. Das Bromjodsilber (10% Jodsilber) und die reinen Jodsilber erleiden größere Empfindlichkeitseinbußen als andere Halogensilber ähnlicher oder sogar höherer Empfindlichkeit.

Die Sensibilisierung mit sauren Farbstoffen wird durch Phenosafranin stärker unterdrückt, als die mit basischen. Durch Waschen erreicht nicht nur die Empfindlichkeit, sondern auch die Sensibilisierung fast ihren normalen Wert wieder. Der Sensibilisator wird also durch den Desensibilisator nicht irgendwie chemisch verändert, sondern scheint in seiner Wirksamkeit nur behindert zu sein.

Über Sensitometrie desensibilisierter Schichten schrieben H. Arens und J. Eggert, Zeitschr. f. wissensch. Photogr. 1928, Bd. 26, S. 111. Sie fanden, daß sowohl die Lage als auch die Form der Schwärzungsflächen für die mit Phenosafranin desensibilisierten Platten weitgehend von der normalen Bromsilber-Gelatineplatte abweicht. Bei der desensibilisierten Platte besitzen die Zeitskalen Maxima, die mit der Intensität abnehmen, so daß bei gewissen Intensitäten gar keine Schwärzung mehr erhalten wird, ja sogar ein Ausbleichen des Schleiers eintritt. Der Schwarzschildsche Exponent p (s. S. 14) nimmt bei der desensibilisierten Platte anormale Werte an: in einem weiteren Bereiche ist p gleich Eins (es gilt also das Reziprozitätsgesetz); im Gebiete des Ausbleichens kann sogar $p = -2{,}3$ werden.

1) Vergl. Lüppo-Cramer, Bd. II, 1, S. 710.

SECHSUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

SENSITOMETRISCHE UNTERSUCHUNG DER TONZEICHNUNG IN PHOTOGRAPHISCHER DICHTESCHRIFT IM TONFILM.

Die Wiedergabe des Tones erfolgt durch die Wirkung einer Lichtquelle, die den Tonstreifen und den Positivfilm erleuchtet und dadurch eine photographische Zelle erregt.

Es bestehen Beziehungen zwischen Schallstärke und Schwärzung des Tonfilms, welche sensitometrisch erfaßt werden können. Im wissenschaftlichen Zentrallaboratorium der photographischen Abteilung der Agfa Filmfabrik in Wolfen stellte Richard Schmidt Versuche an (Filmtechnik. 1929. Bd. V. S. 194 und 334). Es wurde gefunden, daß bei Einhaltung einer ganz bestimmten Gradation der Kopie die Wiedergabe eines Tones ganz unverzerrt erfolgt, wenn das Produkt: Gamma-Negativ $\times$ Gamma-Positiv = Gamma-Kopie = 1 ist. Physikalisch betrachtet bestehen Tonverzerrungen darin, daß die Stärke und das Aufeinanderfolgen der Schwingungen im Original und in der Wiedergabe nicht in allen Teilen einander ähnlich sind. Akustisch macht sich das sowohl durch Abnahme der Lautstärke bei der Tonwiedergabe als auch durch Veränderung der Klangfarbe bemerkbar.

Die Deformierung bei der Wiedergabe des Klanges z. B., bei einem Klavier kann in den tiefen Lagen sehr gut vorhanden sein, während der Klavierklang um so mehr eine stumpfe xylophonartige Klangfarbe bekommt, je höher die Töne sind.

Nach der Theorie sollte man erwarten, daß die Tonhöhe keinen Einfluß hat. Man muß deshalb vermuten, daß die Eigenschaften der photographischen Schicht vorhanden sind, welche die Verzerrung der Schallaufzeichnung verursachen.

Die gewöhnlichen Negativfilme verhalten sich im Tonfilm ungünstig. Die Agfa stellte Filmmaterial speziell für Tonfilme her, die bis 6000 Hertz und darüber völlig verzerrungsfrei arbeiten.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Die Gründe der Tonverzerrung, die bei der Tonaufzeichnung auf gewöhnlichen Filmen unvermeidlich sind, beruhen in erster Linie auf Überstrahlungserscheinungen (Irradiation) in der photogr. Schichte, dann auf der Korngröße; günstig ist die Gleichartigkeit der Korngrößen.

In der Abhandlung von Richard Schmidt ist der Weg angegeben, wie man durch sensitometrische Methoden diese Verhältnisse studieren kann.

Diese keineswegs abgeschlossenen Betrachtungen über die sensitometrische Prüfung von dem Photomaterial für Tonfilme sollen hier nur in Kürze erwähnt werden, weil eine breite Behandlung dieses Gegenstandes nicht im Plan dieses Buches liegt.

Wir verweisen im übrigen auch auf die Mitteilungen von C. Emmermann in der „Filmtechnik“ 1929. S. 337 und auf andere Referate in derartigen Fachzeitschriften, insbesondere die Publikationen von Lloyd A. Jones über den Eastman „Sonochromfilm“, der speziell für Tonzwecke hergestellt wird (Mitteilg. Nr. 393 der Kodak-Untersuchungs-Laboratorien in Rochester; „Filmtechnik“, 1929. S. 341).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SIEBENUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

SCHWÄRZUNGSVORGÄNGE BEI DER PHOTOGRAPHIE MIT RÖNTGENSTRAHLEN.

Es liegt nicht im Plane des vorliegenden Buches, auf die Röntgen-Photographie näher einzugehen, da diesbezüglich eine sehr umfangreiche Spezialliteratur vorhanden ist.

Eine gute Übersicht über die physikalischen Grundlagen der Röntgenphotographie und ihren Zusammenhang mit den Aufnahmen mit Bromsilbergelatine bildet das Buch von John Eggert, „Einführung in die Röntgenphotographie", 3. Aufl. 1928, Verlag der „Agfa".

Als gute einführende Spezialwerke seien hier noch genannt: B. Walter, „Die physikalischen Grundlagen der medizinischen Röntgentechnik". 1926, Verlag Fr. Vieweg, Braunschweig. — F. Wolters, Grundlagen der Röntgenphysik 1928, Verlag Ottermann, Paris; „Kontrast und Schärfe im Röntgenbilde" von W. Bronkhorst, 1927, Georg Thieme Verlag, Leipzig 1927.

Weitere Literatur:

H. Franke, „Die Beeinflussung des Röntgenbildes durch die Technik" (Rheinisch-Westfälische Röntgengesellschaft 26. November 1927).

H. Franke, „Die Bedeutung der photographischen Technik für das Röntgenbild". Technische Mitteilungen für Röntgenbetriebe Nr. 7, 1929, Verlag der Firma H. F. Müller A.-G., Hamburg.

W Barth und John Eggert, „Photographische Studien an Kalziumwolframatverstärkungsfolien (Fortschr. a. d. Gebiete der Röntgenstrahlen Bd. 39. 1).

M. Michel, „Standardisierung der technischen Bedingungen der Röntgenbilder" (ebenda).

Die Beziehungen zwischen Intensität des Röntgenlichtes[1]) und der photographischen Schwärzung einer Bromsilber-Gelatineplatte sind ziemlich genau durch die Reziprozitätsregel $i \cdot t$ (d. i. das Produkt von Intensität und Wirkungszeit ist konstant) ausgedrückt. Die Beziehungen sind einfacher als für gewöhnliches Licht, bei welchem sie durch die Schwarzschildsche Gleichung $i^q \cdot t = \text{konstant}$ oder durch

1) Die Röntgenstrahlen sind ein Strahlengemisch. Man unterscheidet in ihm die „harten" Strahlen mit der Wellenänge von ungefähr 0,3 Angströmschen Einheiten, die „mittleren" von 0,4 und die „weichen" von 0,5 Angströmschen Einheiten.

noch kompliziertere Gleichungen ausgedrückt werden. (Krönke, Annal. d. Phys. 1914, Bd. 43, S. 687. — E. Glocker, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen 1922, Bd. 29, S. 107. — John K. Robertson und J. T. Thwaites, Chem. Zentralbl. 1925, I, Nr. 5.

Für intermittierende Beleuchtung mit Röntgenstrahlen gilt das alte Talbotsche Gesetz[1]) in folgender Form: „Wenn eine Stelle einer photographischen Schicht von periodisch veränderlichem und regelmäßig in derselben Weise wiederkehrendem Röntgenlicht getroffen wird, so entsteht eine Schwärzung, welche der gleich ist, die entstehen würde, wenn dasselbe während einer jeden Periode verteilt würde.“ (R. Blunk und P. P. Koch, Annal. d. Phys. 1925, Bd. 30, S. 47.) Für Röntgenstrahlen erscheinen somit die Schwärzungsgesetze für intermittierende Belichtung viel einfacher als für gewöhnliches Licht (vgl. H. M. Kellner, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1926, S. 41). Deshalb gibt eine dem Scheiner-Sensitometer nachgebildete Form einer rotierenden Scheibe für die Sensitometrie der Röntgenstrahlen gute Resultate, wenn man die rotierende Metallscheibe aus Blei anfertigt (s. später).

In der Röntgentechnik, wo ja die Sichtbarmachung der Dichtedifferenzen eine besondere Aufgabe bildet, bedient man sich im allgemeinen mit Vorteil einer steil arbeitenden Gradation. Sie gibt naturgemäß mit einer relativ harten Röntgenstrahlung kontrastreichere Bilder als eine flach, resp. weich arbeitende Emulsion, auch wenn zu deren Belichtung weiche Röntgenstrahlen zur Verwendung kamen. Auf entsprechender Steigerung der Gradation durch Überlagerung an sich normaler Bilder beruht bekanntlich die Wirkung der doppelseitig begossenen Filme. Abgesehen von der Art des Entwicklers wird die Gradation steiler mit Erhöhung der Konzen-

---

1) Das Talbotsche Gesetz zur additiven Mischung im Farbenkreisel besteht in folgendem:

Werden rotierende Scheiben mit verschieden gefärbten Sektoren in rasche Umdrehung versetzt, so wird eine ganz tätige Empfindung der Farbenmischung hervorgerufen. Hinsichtlich des Aussehens der bei der Mischung entstehenden Farbe sagt das Talbotsche Gesetz aus, daß der resultierende stetige Eindruck jenem gleich ist, der entstehen würde, wenn das während eines jeden Scheibenumganges die einzelne Netzhautstelle treffende Licht gleichmäßig über die ganze Dauer dieser Periode verteilt werde. Eduard Haschek zeigte, daß dieses Talbotsche Gesetz nur beschränkte Gültigkeit hat, nicht aber für sehr hohe Wechselzahlen der Licht- und Dunkelzeiten. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathem. Naturw. Klasse vom 31. Januar 1929.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

tration, Steigerung der Temperatur und Ausdehnung der Entwicklungszeit. Wir bemerken jedoch als Folge dieser Maßnahmen eine ständig zunehmende Tendenz auch unbelichteter Stellen sich zu schwärzen.

(H. Franke.)

In den gegenwärtigen Stand der Röntgenstrahlen-Sensitometrie und damit verwandten Gegenstände und andere in das Gebiet der Röntgenphotographie einschlägige Fragen gibt einen guten Überblick der offizielle Bericht der „Arbeitsgruppe VIII“ Photographische Platten und Filme der Normalstelle der Deutschen Röntengesellschaft der Strahlenkunde und Röntgenforschung vom 12. November 1928:

„Im Hinblick auf die in der Lichtphotographie bestehenden Systeme der Sensitometrie (deren internationale Normung ebenfalls zur Zeit bearbeitet wird) wurden die Möglichkeiten erwogen, die für die Normierung der Röntgenstrahl-Sensitometrie bestehen. Hierbei ist prinzipiell zunächst folgendes zu bedenken: Es besteht zwar durch die Festsetzung der Röntgeneinheit gegenüber der Lichtphotographie der Vorteil, daß die Strahlungsquelle bereits standardisiert ist, was für die Lichtphotographie noch nicht behauptet werden kann. Hätte man es nur mit der Wirkung reiner Röntgenstrahlen auf die photographische Platte zu tun, so wäre durch die Festsetzung der R-Einheit bereits ein wesentlicher Fortschritt in der Sensitometrie erreicht, da für die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Schicht das Reziprozitätsgesetz in den bisher untersuchten Grenzen erfüllt ist. Wenn auch eine ganze Anzahl von Aufnahmen mit reiner Röntgenstrahlung hergestellt wird, wie das Bestehen von Einzelpackungen von Röntgenfilmen sowohl für Zahnfilm als auch für große Formate zeigt, so wird doch die überwiegende Mehrzahl der diagnostischen Röntgenaufnahmen unter Benutzung von Verstärkungsfolien ausgeführt. Dies bedeutet, daß in diesem Falle letzten Endes wieder eine reine Lichtwirkung auf die photographische Schicht zustande kommt, für die das Reziprozitätsgesetz bekanntlich nicht gilt. Es muß daher, ebenso wie in der Photographie, zwischen Intensitäts- und Zeitsensitometrie unterschieden und das Optimum unter den verschiedenen Methoden gesucht werden, bei gleichzeitiger Abwägung der Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren.

Unter allen Umständen muß jedoch die Lichtquelle, abgesehen davon, daß man ihre Intensität durch Röntgen-Einheiten ausdrückt,

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

bezüglich der von ihr gelieferten Strahlenzusammensetzung definiert werden.

Zu diesem Zwecke ist es empfehlenswert, daß Messungen darüber angestellt werden, welche Wellenlängen eine Strahlung besitzt, die das zu untersuchende Objekt unter den verschiedenen diagnostischen Bedingungen verläßt. Herr Friedrich erklärte sich dazu bereit, in seinem Institut Versuche mit einem Wasserphantom in dieser Richtung anzustellen. Wenn man durch diese Experimente über den Härtebereich der effektiv auf die photographische Schicht treffenden Strahlung unterrichtet sein wird, ist die Standardisierung der Lichtquelle durch Antikathodenmaterial, Wandstärke, Filter usw. vorgezeichnet.

Bei der nachfolgenden Beurteilung der verschiedenen sensitometrischen Systeme ist es wichtig zu wissen, welcher Variationsbereich in der Belichtung der zu untersuchenden Schicht zu fordern ist. Geht man bei den einzelnen Belichtungsstufen um den Faktor 2 vorwärts, so benötigt eine normale Schwärzungskurve etwa sieben derartiger Felder; da jedoch die Schwärzungskurve unter Zuhilfenahme einer Verstärkungsfolie um den Faktor 8—16, d. h. um 3—4 Felder gegenüber der Schwärzungskurve mit reiner Röntgenstrahlung verschoben ist, wächst der erforderliche Umfang auf 10—11 Felder. Will man für die Steigerung der Empfindlichkeit, die von den photographischen Verfahren noch zu erwarten ist, eine gewisse Reserve vorsehen, so müßte die sensitometrische Kurve, die sowohl die Folienwirkung als auch die reine Röntgenwirkung umfaßt, mindestens 12 Felder, das ist der Belichtungsumfang 1:4000, betragen.

Wir betrachten nun zunächst die Intensitätsskala, d. h. Belichtungen, bei denen mit verschieden gestaffelter Intensität eine bestimmte, konstante Zeit lang belichtet wird. Anschließend an das in der Lichtsensitometrie bekannte Röhrenphotometer haben Friedrich und Koch (1914) eine entsprechende Apparatur für Röntgenstrahlen konstruiert, die zwar physikalisch völlig einwandfrei arbeitet, für den vorstehend verlangten Zweck jedoch nicht brauchbar sein dürfte, weil sie Belichtungszeiten (viele Stunden) erfordert, die sich weit von den Expositionszeiten diagnostischer Aufnahmen entfernen. — Auch eine den Keilsensitometern entsprechende Einrichtung läßt sich auf die Röntgensensitometrie übertragen, wie dies wohl zu allererst Röntgen anregte. Hier bestehen jedoch im Vergleich zur Lichtsensitometrie drei wesentliche Schwierigkeiten:

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

1. Ist die Keilkonstante, d. h. die Absorptionszunahme pro Längeneinheit in der Richtung des Keilanstiegs in höchstem Maße von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen abhängig; 2. ist, wenn nicht gerade mit monochromatischem Licht gearbeitet wird, die Änderung der Strahlenzusammensetzung an jeder Stelle des Keils verschieden. Diese letztere Frage steht mit der Standardisierung der Lichtquelle (vorangehender Absatz) in engem Zusammenhang; und 3. ist zu bedenken, daß man sich — infolge dieses zu 1. und 2. genannten Mangels an Definierbarkeit der Methode — der bisher üblichen Darstellungsmöglichkeit der photographischen Schwärzungskurve nach Hurter und Driffield entäußert. — Eine dritte Möglichkeit der Intensitätsvariation besteht in der Abstufung des Abstandes zwischen Lichtquelle und photographischer Schicht. Bedenkt man jedoch, daß der kürzeste Abstand nur 50 cm sein kann und der größte maximale 10 m, so kommt man zu einer maximalen Variation des Belichtungsbereiches von 1:400. — Zusammenfassend ergibt sich somit, daß die Sensitometrie mit Intensitätsskalen bedenkliche Mängel aufweist.

Was den Gebrauch der Zeitskalen anlangt, so haftet ihnen naturgemäß der grundsätzliche Fehler an, daß sich Sensitometrie und Anwendungsform nicht decken. Sofern nur mit reiner Röntgenstrahlung gearbeitet wird, ist dieser Unterschied nicht von Belang, da ja für die Röntgenstrahlung das Reziprozitätsgesetz gilt. Für die Benutzung von Verstärkungsfolien jedoch tritt der obengenannte Fall ein, daß der Verlauf der Gradationskurve je nach den Belichtungsbedingungen eine Veränderung erleidet. (J. Eggert hat es übernommen, Material für die Größe des Fehlers beizubringen, den man bei Gebrauch der Zeitsensitometrie begeht.) Immerhin erscheint dieser Nachteil gegenüber den sich aus der Intensitätsskalenmethode ergebenden und oben bereits auseinandergesetzten Nachteilen so gering, daß in der einschlägigen Industrie von der Zeitsensitometrie Gebrauch gemacht wird. Dies geschieht entweder in der Form, daß eine photographische Schicht Feld für Feld mit geometrisch ansteigenden Belichtungszeiten bestrahlt wird, wobei gleichzeitig ohne und mit zwei Verstärkungsfolien gearbeitet wird. Dieser Methode — im Grunde das altbekannte Verfahren der in zeitlicher Staffelung aufgezogenen Kassette — steht die von Dr. Franke ausgeübte Methode des rotierenden Sektors gegenüber. Hier wird eine aus Blei gearbeitete Scheinerscheibe, versehen mit einem wiederum geometrisch gestaffelten Ausschnitt, vor dem zu untersuchenden photographischen

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Material in Rotation versetzt, und die zur Belichtung verwendete Strahlung gleichzeitig mit einer Ionisationskammer kontrolliert. Wegen der Dimensionierung von Scheibe und Ausschnitt ist die Anzahl der Felder mit definierter Belichtung begrenzt, während bei der erstgenannten Zeitskalenmethode dieser Umstand keiner Beschränkung unterliegt.

Auch der Entwicklungsvorgang der belichteten Schicht wurde hinsichtlich der Normierung erörtert. Hier besteht die Schwierigkeit, daß jedem photographischen Material ein individueller Entwicklungsprozeß zugesprochen werden muß, wenngleich sich dieser individuelle Vorgang hinsichtlich der Zusammensetzung des Entwicklers, Angaben über seine Haltbarkeit, Dauer der Verwendbarkeit, Temperatur seiner Anwendung, sowie Gesamtdauer des Entwicklungsvorganges, ferner bezüglich des Schleierwertes und ähnlicher Dinge, kurz, wenn sich auch dieser Vorgang in gewissen Grenzen gut reproduzieren läßt. — Bei der Naßbehandlung der photographischen Schicht sei auch an die Beleuchtung und die sonstigen Einrichtungen der Dunkelkammer gedacht.

Bei der Betrachtung des Negativs entstehen oft Erörterungen über die Konturenschärfe und über die Körnigkeit des Bildes. Da beide Größen, wie bekannt, von mehreren Variablen abhängig sind, kann es sich bei einer eventuellen Normierung dieser Größen lediglich darum handeln, nach einem für sie gefundenen Maß gewisse Grenzen aufzustellen. Bei den Erörterungen eines solchen Maßes erklärten sich verschiedene Herren bereit, Versuche anzustellen; z. B. besteht die Möglichkeit, ein scharf konstruiertes Objekt (Drahtnetz oder Metallplatte) vergleichsweise mit reiner Röntgenstrahlung und unter Verwendung von Verstärkungsfolien aufzunehmen, und sowohl das Objekt als auch die Aufnahme mit dem Registrierphotometer auszumessen.

Schließlich wurden einige allgemeinere Fragen über die Beschaffenheit der photographischen Materialien besprochen. Es war die Rede von den verschiedenen Schichtarten, wie: diagnostisches Aufnahme-, sowie andererseits Positiv- und Diapositivmaterial. Es wurde von den verschiedenen Formaten gesprochen, sowie von der verschiedenen Art der Verpackung (dutzendweise oder Einzelpackung). Endlich muß, besonders im Hinblick auf die gegenwärtig stark im Fluß befindliche Stereoskopie mit Röntgenstrahlen, auf die Frage der Unterlage der photographischen Schicht hingewiesen werden. Bekanntlich spricht vieles für die Einführung des unentflammbaren Azetylfilms. Infolge seiner Wasserempfindlichkeit kann

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

er jedoch leicht durch Verziehen der Schicht den Stereoeffekt in Frage stellen, was für eine Glas- oder Nitrofilmunterlage natürlich nicht zu befürchten ist.“ — (Fortschr. a. d. G. d. Röntgenstr. Bd. XXXVIII, 5, p. 907 ff.)

Internationale Röntgeneinheit.

Auf dem II. Internationalen Radiologenkongreß in Stockholm gelangten in seiner Schlußsitzung am 27. Juli 1928 folgende, durch die Internationale Kommission zur Schaffung einer Röntgeneinheit einstimmig gemachte Vorschläge für die Durchführung der Standardisierung der Röntgenstrahlenmessung zur Annahme:

1. Daß eine internationale Einheit der Röntgenstrahlung angenommen werde.
2. Daß diese internationale Einheit dargestellt werde durch die Röntgenstrahlenmenge, die bei voller Ausnutzung der sekundären Elektronen und unter Vermeidung der Wandwirkungen in der Ionisationskammer, in einem Kubikzentimeter atmosphärischer Luft bei 0° Celsius und 76 cm Quecksilberdruck eine solche Leitfähigkeit bewirkt, daß eine Ladung von einer elektrostatischen Einheit bei Sättigungsstrom gemessen wird.
3. Daß die internationale Einheit der Röntgenstrahlung das „Röntgen“ genannt und durch den Buchstaben „*r*“ bezeichnet werde.
4. Daß verschiedene Standardmethoden angewandt werden, um die Einheit zu verwirklichen.
5. Daß es für alle Vergleichszwecke anzuraten sei, Ionisationskammern zu gebrauchen, die mit Hilfe einer Standardkammer für Röntgenstrahlen verschiedener Qualitäten geeicht worden sind. Es ist ebenfalls zu empfehlen, die Wandwirkungen dieser Kammern so klein wie möglich zu gestalten.
6. Daß die für die Messung der Röntgenstrahlen praktisch verwendeten Instrumente „Dosismesser“ genannt werden sollen.
7. Daß die Konstanz der Angaben des Dosismessers mit der von einer bestimmten Menge Radiumelement ausgehenden Gammastrahlung geprüft werde, wobei die Messung stets unter den gleichen Bedingungen auszuführen sei.
8. Daß jede Dosisangabe unvollständig sei, wenn nicht außer über die Strahlenquantität auch über die Strahlenqualität nähere Mitteilungen erfolgen. Daß ferner die praktisch ge-

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

brauchte Strahlenqualität sehr verschiedenartig ist, und daß es daher untunlich ist, sie vollständig zu beschreiben. Daß jedoch ein gutes Bild gewonnen werden kann, aus der Kenntnis der Strahlenabsorption in Standardmaterialien, aus der an der Röhre liegenden Scheitelspannung in Verbindung mit dem angewandten Vorfilter und aus der Art der Hochspannungsapparatur.

Für praktische Zwecke soll die Strahlenqualität ausgedrückt werden durch Angabe der effektiven Wellenlänge in der Form der Bestimmung aus dem Prozentsatz der Strahlung, der durch eine Schicht von gegebener Dicke eines geeigneten Materials (Kupfer oder Aluminium) hindurchgelassen wird.

9. Mit Rücksicht auf den raschen Fortschritt der Methoden der Röntgenstrahlenmessung und unserer Kenntnisse der ihr zugrundeliegenden physikalischen Vorgänge ist sich die Kommission des vorläufigen Charakters obiger Vorschläge bewußt.

Es mag hinzugefügt werden, daß sich die nunmehr international angenommenen Vorschläge weitgehend mit den Methoden der in Deutschland seit einigen Jahren eingeführten Einheitsdosimetrie decken. — (Zit. aus Fortschr. a. d. G. d. Röntgenstr. XXXVIII, 5, p. 909.)

J. Eggert und W. Noddack untersuchten die Quantenausbeute bei der Wirkung von Röntgenstrahlen auf Silberbromid. Sie hatten in ihrer ersten Mitteilung (Zeitschr. f. Physik, Band 43, S. 222) festgestellt, daß bei der Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Agfa-Röntgenfilme für jedes absorbierte Quant der Röntgenenergie ein Korn entwickelbar wird. Diese hohe Ausbeute erklärt sich dadurch, daß für jedes absorbierte Quant etwa 1000 Silberatome innerhalb eines Kornes in Freiheit gesetzt werden. Es wird nun durch Kornzählung und Energiemessung gezeigt, daß auch für Agfa-Kinopositiv und Hauff-Ultra-Rapid jedes absorbierte Quant der Röntgenenergie ein Korn entwickelbar macht. Sollte sich dieser Befund verallgemeinern lassen, so wäre damit eine einfache und bequeme Methode zur Messung der Röntgenenergie gegeben. — Die Arbeit enthält einen Vergleich der Emulsionen Agfa-Röntgenfilm, Agfa-Zahnfilm und Agfa-Kinopositiv hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Röntgenstrahlen und sichtbares Licht; die Verschiedenheiten der Schwärzungskurven werden zu den Ergebnissen der Kornzählungen und zum Deckungsvermögen in Beziehung gesetzt (Zeitschrift f. Physik, 1928, Bd. 51, S. 796. — Phot. Industr. 1929, S. 400).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

ACHTUNDZWANZIGSTES KAPITEL.

NACHTRAG.

Zu Seite 13, 174, 531 und 536. Schwarzschilds Schwärzungsgesetz, Intensitätsfaktor, Solarisation und Herschel-Effekt, die man bei Bromsilbergelatine mit Entwicklung beobachten kann, treten beim Jodsilber (in Form von Jodsilbergelatine mit überschüssigem Alkalijodid oder -bromid und dann gewaschen) gleichfalls auf und zwar in ihrer reinsten Form. Der Schwarzschildsche Exponent p ist für Jodsilbergelatine mit Entwicklung kleiner als eins (vgl. S. 177). — Das Jodsilber eignet sich zu Regressionserscheinungen (Zurückgehen des latenten Bildes) und zu solarisierender Umkehrung besonders gut. Auch tritt der Einfluß des Intensitätsfaktors beim Jodsilber besonders deutlich in Erscheinung. Jodakzeptoren, wie Ferrozyankalium, Bisulfite usw., heben diese Phänomene bei Jodsilbergelatine auf. Auch das Quecksilberjodid verhält sich ähnlich dem Jodsilber (Lüppo-Cramer, Phot. Korresp. 1929, S. 97; Kinotechnik 1929, S. 65; Zeitschr. f. wissensch. Phot., Bd. 29, S. 1).

Unterschied zwischen Solarisation und Herschel-Effekt. Der wahre Herscheleffekt tritt im allgemeinen im roten Lichte auf, wenn man die Photohaloidschichten zuerst entsprechend lang im diffusen weißen Lichte vorbelichtet. Manche Papier- oder Plattensorten zeigen diesen Herscheleffekt (Umkehrung des Bildes beim Entwickeln) besonders stark, wie Lüppo-Cramer an Beispielen nachweist (Phot. Indust. 1929, S. 853; Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1929, Bd. 27, S. 1), wenn sie Spuren von Kupferchlorid enthalten.

Wird eine Bromsilbergelatineplatte sehr lange und kräftig überexponiert, so tritt beim Entwickeln eine Verminderung der Schwärzung ein (Solarisation). Dabei ist jenes Licht wirksam, das zur Entstehung des normalen Lichtbildes bei geringerer Exposition führt, z. B. bei gewöhnlichem Bromsilber das blaue Licht, bei Erythrosinplatten auch noch das grüngelbe Licht usw. Die Solari-

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

sation wird durch Zusatz von Bromakzeptoren wie Natriumnitrit, Ferrozyankalium usw. in ihrer Entstehung weitgehend aufgehoben. Lüppo-Cramer zeigte, daß eine mit Natriumnitrit imprägnierte Bromsilbergelatineplatte weder im blauen, noch im grünen Lichte bei starker Überexposition solarisiert, während das rote Licht eine Aufhellung (Herscheleffekt) herbeiführt. Diese Indifferenz des Herscheleffektes gegen Bromakzeptoren im Gegensatz zu der völligen Unterdrückung der gewöhnlichen Solarisation durch Nitrit ist zu beachten (Lüppo-Cramer, Zeitschr. f. wissensch. Phot. 1929, Bd. 26, S. 295).

Das Verhalten des Bromsilberkollodiums gegen Herscheleffekt und Solarisation. Bromsilberkollodium in der üblichen Weise nach Jonas hergestellt (s. Eder, Photographie mit dem Kollodiumverfahren, 3. Aufl. 1927, S. 269) enthält Spuren von überschüssigem Bromammonium adsorbiert und gibt einen ausgesprochenen Herscheleffekt im roten Licht; badet man aber solche Emulsionsplatten in sehr verdünnter Silbernitratlösung, so verhindern die adsorbierten Silberionen die Entstehung des Herscheleffektes (Lüppo-Cramer). — Die mit Eosinsilber sensibilisierten Kollodiumemulsionen geben eine verlängerte gerade ansteigende Schwärzungskurve, die sich viel später in den hohen Lichtern umbiegt (Hemmer der Solarisation) als die reine Bromsilberkollodiumemulsion (Eder).

Jodsilber im nassen Kollodiumverfahren (mit überschüssigem Silbernitratbad) zeigt einen hohen Intensitätsfaktor (deutliches Schwarzschild-Phänomen), eine deutliche Solarisation, aber das latente Lichtbild geht bei tagelangem Aufbewahren der belichteten Platte unter Wasser nicht zurück (zeigt keine bemerkenswerte Regression).

Zu Seite 233. Farbenempfindliches Jodsilber. Normales Jodsilber ist für Blauviolett im Spektrum empfindlich (siehe S. 233); es kann nicht durch die gewöhnlichen Farbensensibilisatoren farbenempfindlich gemacht werden. Nur im Stadium der Solarisation tritt die sensibilisierende Wirkung der Farbstoffe hervor. Wird Jodsilbergelatine diffus stark vorbelichtet, so bewirken geringe Lichtintensitäten Solarisation. Badet man solche Jodsilberplatten nach der Vorbelichtung in Farbstofflösungen (gleichgültig ob es Sensibilisatoren oder Desensibilisatoren sind) und belichtet unter einem Farbensensitometer, so tritt volle Farbenempfindlichkeit im solarisierten

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Bilde nach dem Entwickeln mit alkalischem Amidolentwickler hervor (Lüppo-Cramer, „Über farbenempfindliches Jodsilber", Kinotechnik 1929, S. 119).

Zu Seite 246. Der Energie-Nivellierer Schmiescheks liefert spektral zerlegtes Licht mit künstlich erzeugter gleicher Intensität über jeden Teil des farbigen Spektrums. Dazu bemerkt Eder in der „Photographischen Industrie" 1929, S. 852: Die so erhaltenen Kurven weichen natürlich sehr stark von den mit natürlichem Sonnenlicht oder mit künstlichen Lichtquellen erhaltenen Sensibilisierungskurven ab. Dies ist selbstverständlich, weil es eben keine einzige Lichtquelle gibt, in der die verschiedenfarbigen Lichter unter sich die gleiche Intensität der verschiedenen Farbenstrahlen zeigen würden. Demzufolge sind die mit dem „Nivellierer" erhaltenen Kurven der Farbensensibilisierung überhaupt nicht unmittelbar für die photographische Praxis zu übertragen, weder für Aufnahmen bei Sonnenlicht, noch bei künstlichem Licht. Man müßte diese „nivellierten" Kurven erst auf die Lichtverteilung im Sonnenspektrum usw. zurückführen und rekonstruieren, dann erst kann man aus denselben entnehmen, wie die geprüfte farbenempfindliche Platte sich in der angewandten Photographie verhält. Für die Landschafts- und Aerophotographie kommt überhaupt nur Sonnenlicht in Betracht, und da ist es doch einfacher und sicherer, die Kurven der spektralen Farbenempfindlichkeit mittels des Sonnenlichtes festzustellen. Dies geschah auch in den auf Seite 238 mitgeteilten Tabellen Eders und in den Spektraltafeln am Schlusse dieses Bandes.

Zu Seite 540. Prüfung von Gaslicht- und Bromsilberpapieren auf einen Gehalt an Kupfersalzen. Bei der Analyse von Gaslicht- oder Bromsilberpapieren für Positive achte man darauf, daß manche derselben eine Spur Kupferchlorid zugesetzt enthalten, um die Gradation steiler zu machen und um kontrastreichere Bilder zu erzielen. Der Kupfergehalt verrät sich durch Betupfen der Schicht mit einer Lösung von Ferrozyankalium, wobei Braunfärbung entsteht.

Zu Seite 544. Über die Analyse von Emulsionen liegen Untersuchungen nebst sensitometrischen Messungen von S. Matsumaye vor (Phot. Indust. 1929, S. 906; aus Science et Indust. phot. 1929, Bd. 9, Nr. 5). Der Verfasser hat sich für die von Clark angegebene Methode (s. S. 553) mit geringen

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Modifikationen entschlossen. Diese wird folgendermaßen ausgeführt: Die Platte wird zunächst in einer Zyankaliumlösung fixiert; diese Lösung kocht man dann eine Stunde in Gegenwart von Zinkstaub. Das Zyankalium wird dann durch Essigsäure zersetzt und die freigewordene Blausäure durch einen Kohlensäure-Gasstrom verdrängt. Das reduzierte Silber wird in Salpetersäure gelöst und mit Sulfozyanat titriert. Die brom- und jodhaltige Lösung wird mittels einer titrierten Silbernitratlösung auf elektrometrischem Wege untersucht, nachdem die vorhandenen Sulfate (Alaune) durch Zusatz von Bariumnitrat gefällt worden sind. Man erhält auf diese Weise die Gesamtmenge an Silber, den Gehalt an Jod- und Bromsilber, an löslichem Bromid und eventuell Chlorid. Mit der beschriebenen Methode hat Matsumaye eine Reihe von Platten des Handels untersucht und auf ihre Gleichmäßigkeit hin kontrolliert. Die nachstehende Tabelle gibt einige der hierbei erhaltenen Resultate wieder. Die beiden letzten Reihen geben den Gehalt an löslichen Bromiden und Chloriden, umgerechnet auf die Halogene, an.

Tabelle.

Empfindlichkeit Hurter u. Driffield	mg Emulsion pro qdm	AgJ + AgBr mg pro qdm	auf 100 Teile AgJ + AgBr				
			AgJ	AgBr	AgCl	Br	Cl
650	374	148	3,15	96,85	—	2,7	0,2
400	444	134	6.85	93,15	—	3.3	1.8
300	380	143	2.45	97,55	—	2,2	0.3
270	375	133	4.33	95,67	—	2,7	1,0
80	421	137	3,98	96,02	—	3,2	0,8
25	300	138	1,32	98,68	2,2	0	1,6
25	221	103	1,31	98,69	0,5	0	2,0

Die ersten fünf Plattensorten in dieser Tabelle sind rapide Platten, die beiden letzteren wenig empfindliche „photomechanische“ Platten für Reproduktionszwecke.

Zu Seite 544. Neuere Methoden zur Bestimmung von Chlor, Brom und Jod.

Die Bestimmung von kleinen Mengen von Brom nach der Chromsäuremethode von P. L. Hibbard[1]). Organische Substanz wird zuerst durch Erhitzen mit Natriumsuperoxyd entfernt, Jod darf nicht anwesend sein, ferner sollen in 15 ccm Lösung nicht mehr als 10 mg Chlor vorhanden sein. Die Lösung wird mit Chromsäure und etwas konzentrierter Schwefelsäure ge-

1) P. L. Hibbard, Jorn. Ind. Eng. Chem. 18 (1926) 57.

ILLUSTRATIONS-TAFELN.

Tafe

Tafe

Tafe

Tafe

Tafe

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

VERZEICHNIS DER ILLUSTRATIONSTAFELN.

Tafel I. Photographie des Sonnenspektrums mit dem großen Steinheilschen Glasspektrographen mit drei Prismen (Spektrumphotographie von J. M. Eder, Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, 1884 bis 1886.) 1. Wirkung des Sonnenspektrums auf gewöhnliche Bromsilbergelatine mit Entwicklung. — 2. Wirkung auf eine orthochromatische mit Erythrosin sensibilisierte Platte. — 3. Dämpfung der Blauwirkung durch Vorschalten einer Gelbscheibe. — 4. Roter und oranger Teil des Sonnenspektrums; (Aufnahme hinter Kupfer-Rubinglas auf einer rotempfindlichen Platte (s. S. 217).

Tafel II. Verhalten verschiedener photographischer Platten gegen das Sonnenspektrum (J. M. Eder). (Prismatisches Spektrum. — Glasspektrograph.) 1. Chlorsilbergelatine. — 2. Jodsilberkollodium. — 3. Jodbromsilberkollodium. — 4. Bromsilbergelatine. — 5. Erythrosin-Bromsilbergelatine. — 6. Pinachrom-Bromsilbergelatine. — 7. Pinazyanol-Bromsilbergelatine (s. Seite 219).

Tafel III. Verhalten verschiedener photographischer Platten gegen das Sonnenspektrum (J. M. Eder). Prismatisches Spektrum. — Glasspektrograph. 1. Dizyanin (hinter Gelbfilter). — 2. Dizyanin. — 3. Dizyanin A. — 4. Pinachromblau. — 5. Pinachromviolett. — 6. Pinazyanolgrün. — 7. Pinazyanol. — 8. Pinachrom (s. Seite 240).

Tafel IV. Spektrale Empfindlichkeit von Bromsilber, Jodsilber und Jodbromsilber gegen elektrisches Glühlampenlicht von Emery Huse und C. E. Meulendyke (Eastman Kodak 1926). Quarz-Spektrograph; vor dem Spalt ein Graukeil. Lichtquelle: Elektrische Wolframfadenlampe. (Siehe Seite 226.)

Tafel V. Spektrum-Photographie mit Azetylenlicht und einem Graukeil vor dem Spalt des Spektrographen. — Bromsilber-Gelatine, rein und mit verschiedenen Farben-Sensibilisatoren von Merle und L. Dundon aus dem Eastman-Forschungs-Laboratorium in Rochester (Phot. Rundschau 1927, S. 33).
Spektra von Platten, mit verschiedenen Farbstoffen sensibilisiert 1. Eastman 40. — 2. Akridin-Orange. — 3. Erythrosin und Ammoniak. — 4. Rhodamin B. — 5. Pinaflavol. — 6. Orthochrom T. — 7. Pinaverdol. — 8. Pinachrom. — 9. Pinachromviolett. — 10. Pantochrom. — 11. Pinazyanol. — 12. Naphthozyanol. — 13. Dizyanin A. — 14. Kryptozyanin. — 15. Neozyanin.

Tafel VI. Spektrumphotographie (Gitter-Spektrograph) mit Keilspalt und einer Nernstlampe mit Bromsilber-Gelatine und verschiedenen farbenempfindlichen Platten, darunter panchromatische (2, a, b, c, d) von Kurt Jacobsohn (Phot. Ind. 1928, Heft 3).

Abb. 1. a) Gewöhnlicher Bromsilber-Gelatine-Film (Eastman 36). b) Pinazyanol. c) Pinaflavol. d) Sensibilisierungsbad: Kombination von Pinazyanol und Pinaflavol in getrennten Bädern nach König.

Abb. 2. a) Kombination von Pinazyanol und Pinaflavol nach König. b) Kombination von Pinazyavol mit Pinaflavol und Pyridin nach H. B.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Carroll. c) Mischung von Pinachromviolett mit Pinachrom nach dem Pinahandbuch. d) Pinachromviolett gemischt mit Pinachrom und Ammoniakzusatz.

Tafel VII. Spektrum-Photographie auf gewöhnlichen und farbenempfindlichen Platten von D. v. Oven (Trockenplattenfabrik O. Perutz in München). — Gitterspektrum mit Spindler und Hoyers Gitterspektrograph. — Die Buchstaben bedeuten Fraunhofersche Linien des Sonnenspektrums. — Licht einer Osram-Nitra-Lampe, 50 Watt und 12 Volt; Akkumulatoren-Batterie mit Präzisions-Voltmeter (1927). — Nr. 1. Bromsilber-Gelatine (Perutz-Superrapid). — 2. Orthochromatische Platte (Perutz, Braunsiegel; Type Erythrosin. — 3. Ebenso, mit gedämpfter Blauempfindlichkeit (Perutz „Eosin"). — 4. Panchromatische Platte mit Orangerot-Empfindlichkeit (Perutz „Chromo A"). — Type Äthylrot mit Chinolinrot-Zusatz. — 5. u. 6. Panchromatische Platte, deren Empfindlichkeit weit ins Rot reicht (5. Perutz „Chromo B"; 6. Panchromatische Rapid-Platte).

Tafel VIII. Verschiedene Testobjekte zur Prüfung des Auflösungsvermögens photographischer Platten. Abb. A. J. E. Jewell, Testobjekt für photographische Linsen (s. Seite 111). Abb. B. Testobjekt von Kenneth Huse (s. Seite 525). Abb. C. Testobjekt von Sandvik (s. Seite 527).

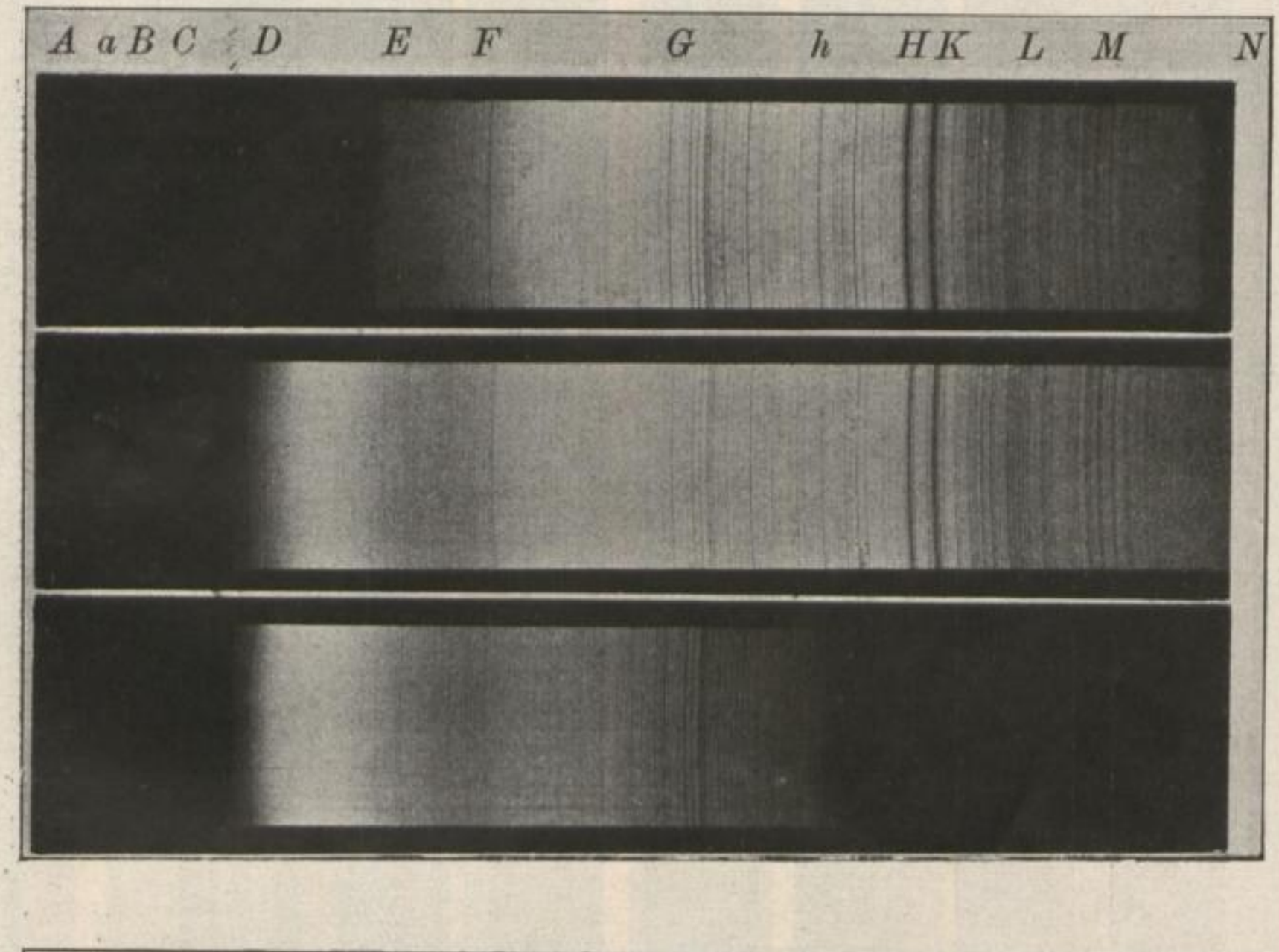
Tafel IX. Phänomene der normalen und der Überbelichtung von Bromsilbergelatine. Sonnenspektrum auf Bromsilbergelatine mit Entwicklung. 1. Normale Exposition. — 2. Doppelte, — 3. 10 fache, — 4. 9000 fache, — 5. 27 000 fache, — 6. 135 000 fache Exposition. Die Spektren 4—6 zeigen Umkehrungserscheinungen (Solarisation) (s. Seite 533).

Tafel X. Phänomene der Überbelichtung bei farbenempfindlichen Platten. Sonnenspektrum auf farbenempflindlichen Platten. — 1. Normales Negativ auf einer Orthochromplatte. — 2. Solarisation einer Orthochromplatte. — Beginn der Solarisation bei einer Erythrosinplatte (7000 fach über das Normale exponiert). — 4. Fortschreiten der Solarisation bei einer 15 000 fach überbelichteten Erythrosinplatte. — 5. Solarisations-Erscheinung bei einer mit Zyklamin sensibilisierten Bromsilbergelatineplatte bei 20 000 facher Überbelichtung; zeigt bei A den sog. „Herschel-Effekt", sonst deutliche gewöhnliche Solarisations-Erscheinungen (s. Seite 533).

Tafel XI. Verwendung des Graukeiles Eder-Hecht zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papier für Autotypie in der Buchdruckpresse und im Schnellpressenkupferdruck. — Abb. A. Halbtonwiedergabe einer Autotypie nach einer Eder-Hecht-Sensitometer-Skala in der Buchdruckpresse auf gestrichenem Kunstdruckpapier. Abb. B. auf Zeichenpapier. Abb. C. Tiefdruck auf Kanzleipapier für Schnellpressen tiefdruck (erscheint als Negativ, weil die Schwärze aus den Vertiefungen gedruckt wird. Vgl. S. 439.

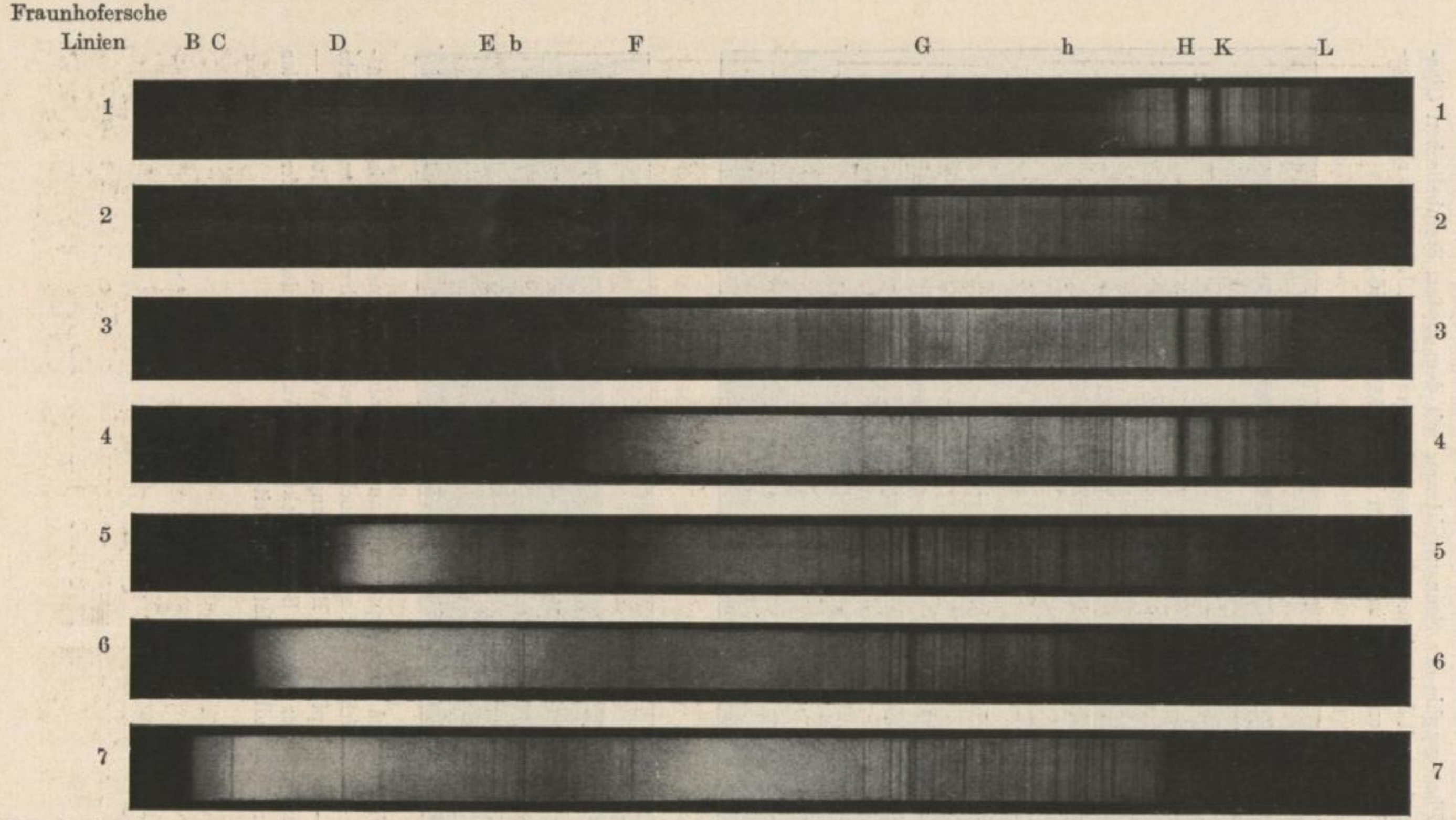
SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel I. Photographie des Sonnenspektrums mit dem großen Steinheilschen Glasspektrographen mit drei Prismen (Spektrumphotographie von J. M. Eder, Sitzungsberichte der Akademie d. Wissensch. in Wien, 1884 bis 1886.)



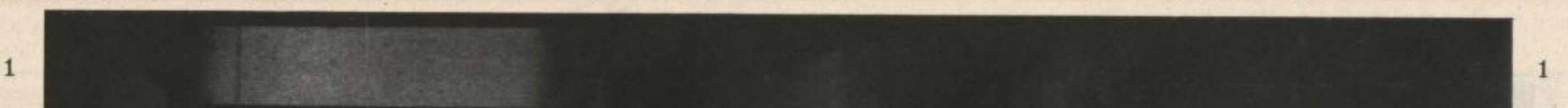
1. Wirkung des Sonnenspektrums auf gewöhnliche Bromsilbergelatine mit Entwicklung. — 2. Wirkung auf eine orthochromatische mit Erythrosin sensibilisierte Platte. — 3. Dämpfung der Blauwirkung durch Vorschalten einer Gelbscheibe. — 4. Roter und oranger Teil des Sonnenspektrums (Aufnahme hinter Kupfer-Rubinglas auf einer rotempfindlichen Platte (s. Seite 217).

Tafel II. Verhalten verschiedener photographischer Platten gegen das Sonnenspektrum (J. M. Eder). (Prismatisches Spektrum. — Glasspektrograph).

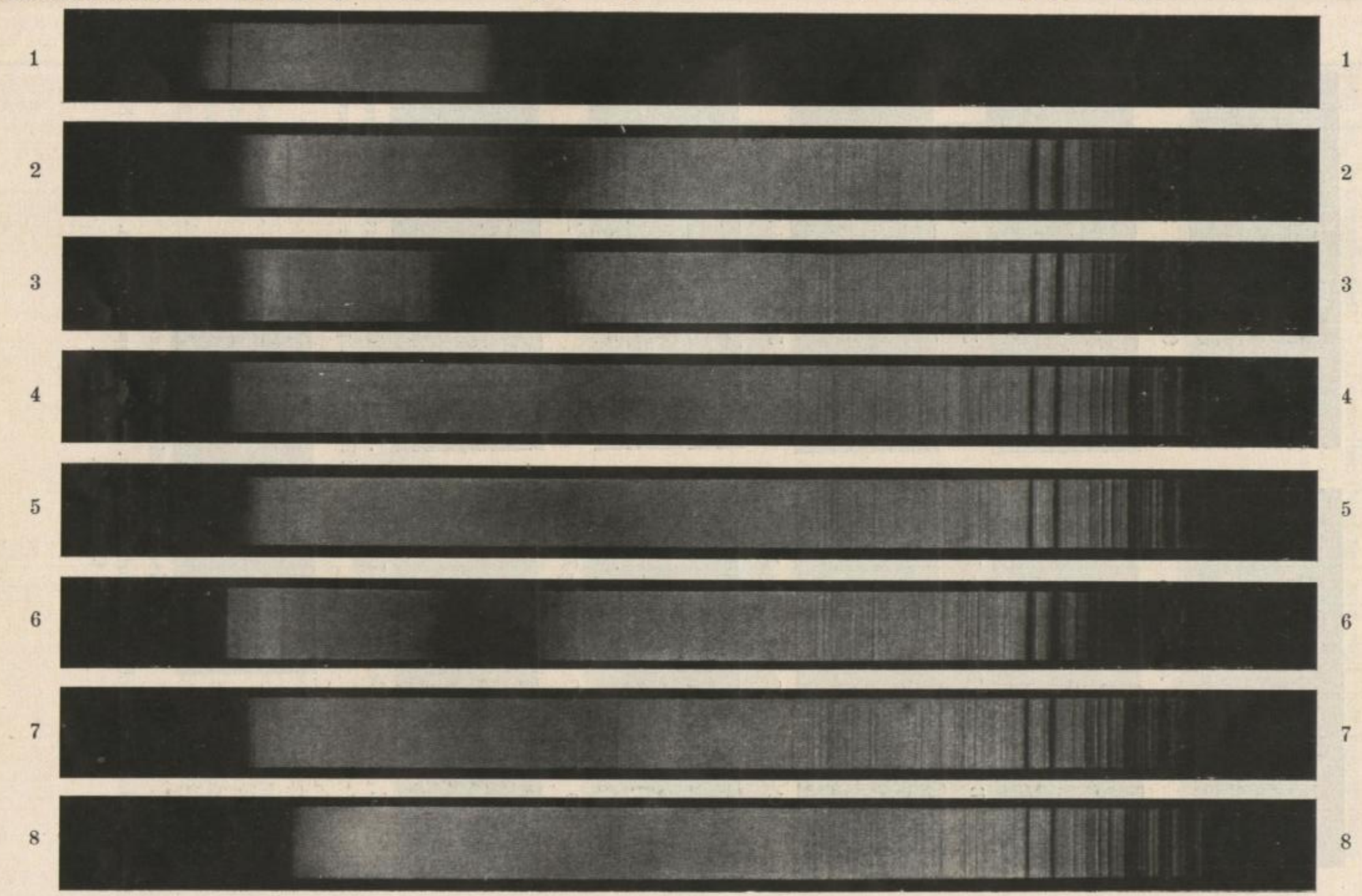


1. Chlorsilbergelatine. — 2. Jodsilberkollodium. — 3. Jodbromsilberkollodium. — 4. Bromsilbergelatine. — 5. Erythrosin-Bromsilbergelatine. — 6. Pinachrom-Bromsilbergelatine. — 7. Pinazyanol-Bromsilbergelatine (s. Seite 219).

Tafel III.



Tafel III. Verhalten verschiedener photographischer Platten gegen das Sonnenspektrum (J. M. Eder). Prismatisches Spektrum — Glasspektrograph.



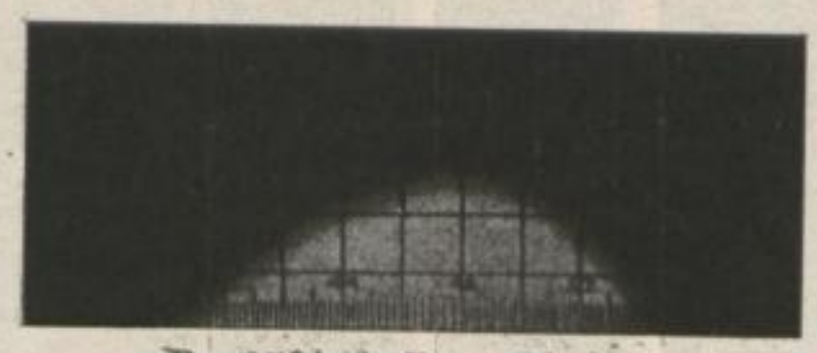
1. Dizyanin (hinter Gelbfilter). — 2. Dizyanin. — 3. Dizyanin A. — 4. Pinachromblau. — 5. Pinachromviolett. — 6. Pinazyanol, grün. — 7. Pinazyanol. — 8. Pinachrom. (Siehe Seite 134.)

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel IV. Spektrale Empfindlichkeit von Bromsilber, Jodsilber und Jodbromsilber gegen elektrisches Glühlampenlicht von Emery Huse und C. E. Meulendyke (Eastman Kodak 1926). Quarz-Spektrograph; vor dem Spalt ein Graukeil.

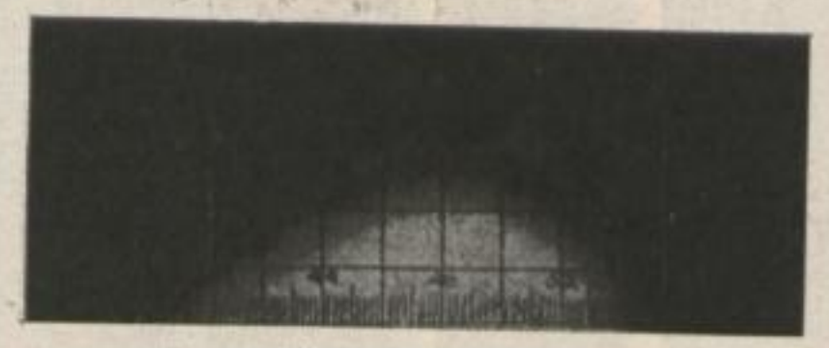
A 100% AgBr

F 65% AgBr 35% AgJ



B 95% AgBr 5% AgJ

G 50% AgBr 50% AgJ



C 90% AgBr 10% AgJ

H 50% AgBr 50% AgJ

D 70% AgBr 30% AgJ

I 100% AgJ

E 68% AgBr 32% AgJ

J Region der Umkehrung von Bromsilbergelatineplatten, die jodiert wurden.

K Nasses Kollodium mit AgJ

Lichtquelle: Elektrische Wolframfadenlampe. — Quarzspektrograph. vor dem Spalt ein Graukeil (s. Seite 226).

Tafel V. Spektrum-Photographie mit Azetylenlicht und einem Graukeil vor dem Spalt des Spektrographen. — Bromsilber-Gelatine, rein und mit verschiedenen Farben-Sensibilisatoren von Merle und L. Dundon aus dem Eastman-Forschungs-Laboratorium in Rochester (Phot. Rundschau 1927, S. 33).

1

8

2

9

3

10

4

11

5

12

6

13

7

14

15

Spektra von Platten, mit verschiedenen Farbstoffen sensibilisiert

1. Eastman 40. — 2. Akridin-Orange. — 3. Erythrosin und Ammoniak. — 4. Rhodamin B. — 5. Pinaflavol. — 6. Orthochrom T. — 7. Pinaverdol. — 8. Pinachrom. — 9. Pinachromviolett. — 10. Pantochrom. — 11. Pinazyanol. — 12. Naphthozyanol. — 13. Dizyanin A. — 14. Kryptozyanin. — 15. Neozyanin

(vgl. Seite 228).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel VI.

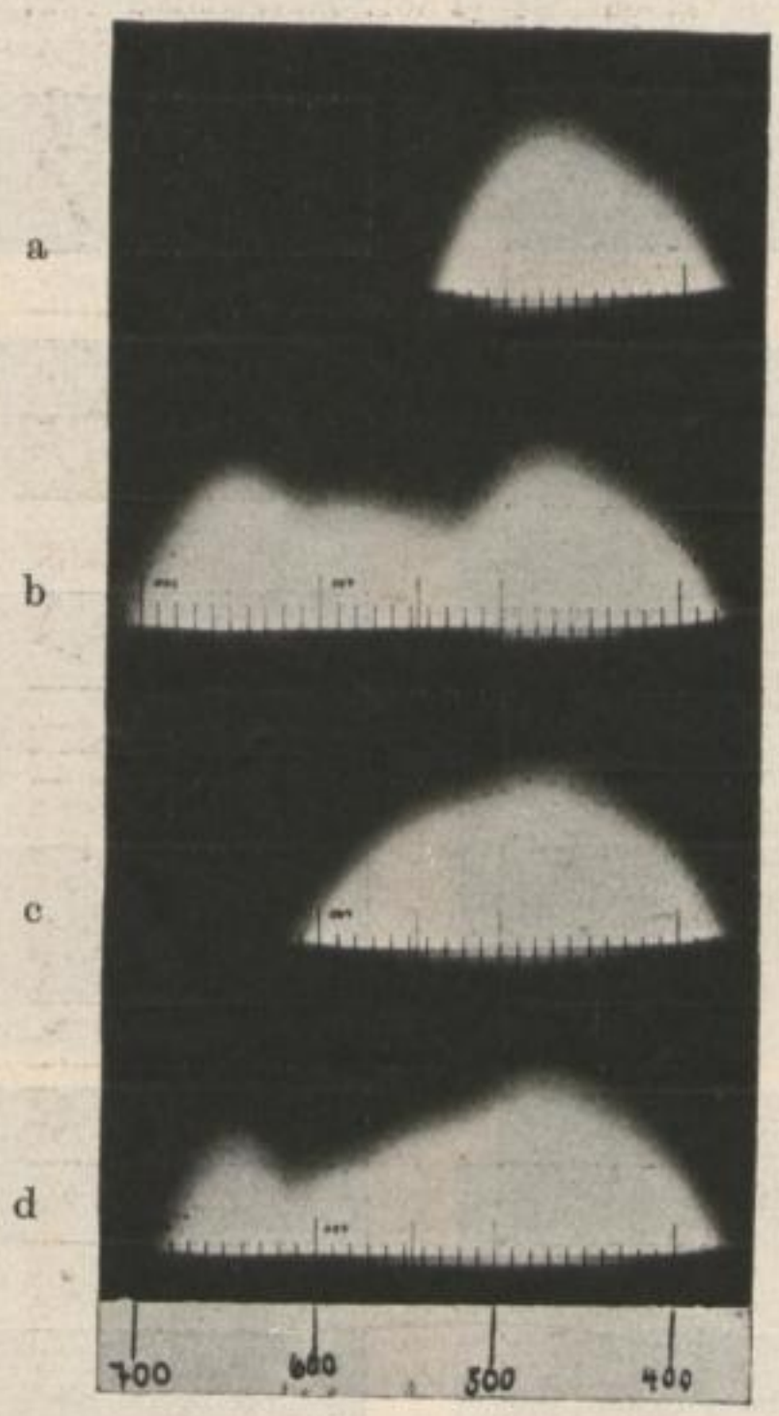


Abb. 1.

Spektrumphotographie (Gitter-Spektrograph) mit Keilspalt und einer Nernstlampe mit Bromsilber-Gelatine und verschiedene farbenempfindlichen Platten, darunter panchromatische (2, a, b, c, d) von Kurt Jacobsohn (Phot. Ind. 1928, Heft 3).

Abb. 1.

a) Gewöhnlicher Bromsilber-Gelatine-Film (Eastman 36).
b) Pinazyanol.
c) Pinaflavol.
d) Sensibilisierungsbad: Kombination von Pinazyanol und Pinaflavol in gegetrennten Bädern nach König (s. Seite 242).

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel VI.

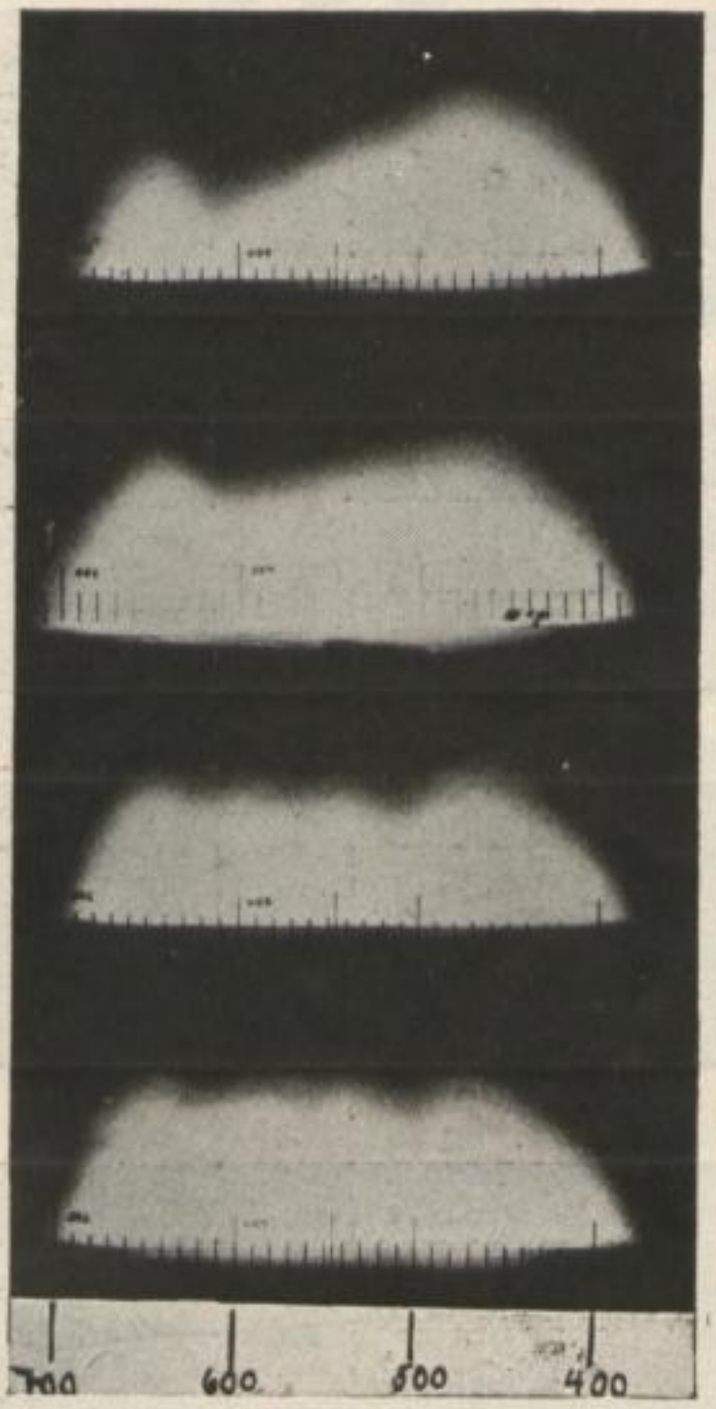


Abb. 2.

Spektrumphotographie (Gitter-Spektrograph) mit Keilspalt und einer Nernstlampe mit Bromsilber-Gelatine und verschiedenen farbenempfindlichen Platten, darunter panchromatische (2, a, b, c, d) von Kurt Jacobsohn (Phot. Ind. 1928, Heft 3).

Abb. 2.

a) Kombination von Pinazyanol und Pinaflavol nach König.
b) Kombination von Pinazyanol mit Pinaflavol und Pyridin nach H. B. Carroll.
c) Mischung von Pinachromviolett mit Pinachrom nach dem Pinahandbuch.
d) Pinachromviolett gemischt mit Pinachrom und Ammoniakzusatz.

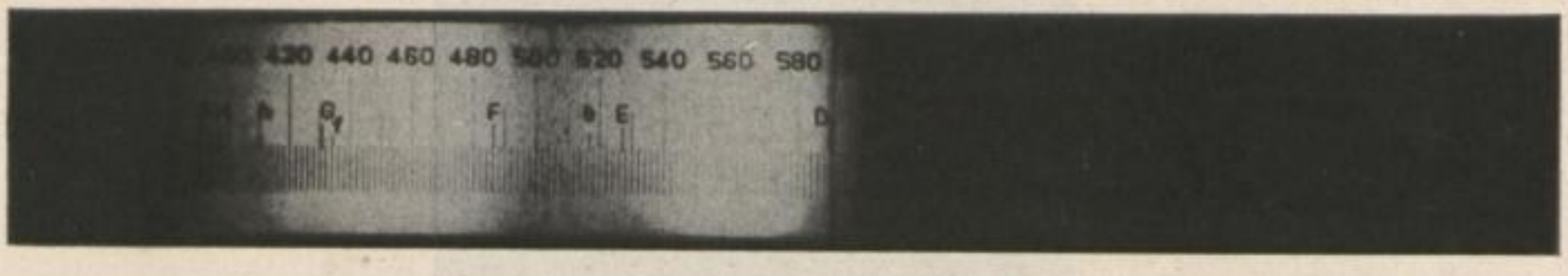
SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel VII.

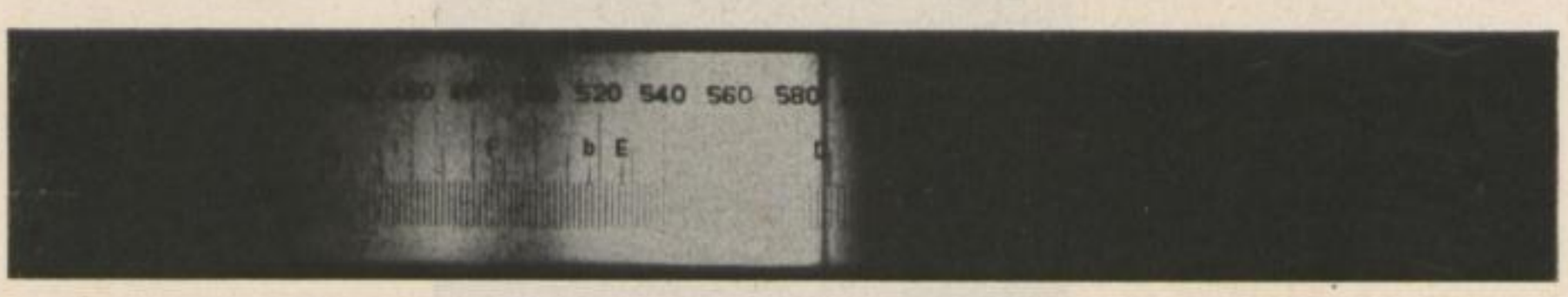
Spektrum-Photographie auf gewöhnlichen und farbenempfindlichen Platten von D. v. Oven (Trockenplattenfabrik O. Perutz in München). — Gitterspektrum mit Spindler und Hoyers Gitterspektrograph. — Die Buchstaben bedeuten Fraunhofersche Linien des Sonnenspektrums. — Licht einer Osram-Nitra-Lampe, 50 Watt und 12 Volt; Akkumulatoren-Batterie mit Präzisions-Voltmeter (1927).

1

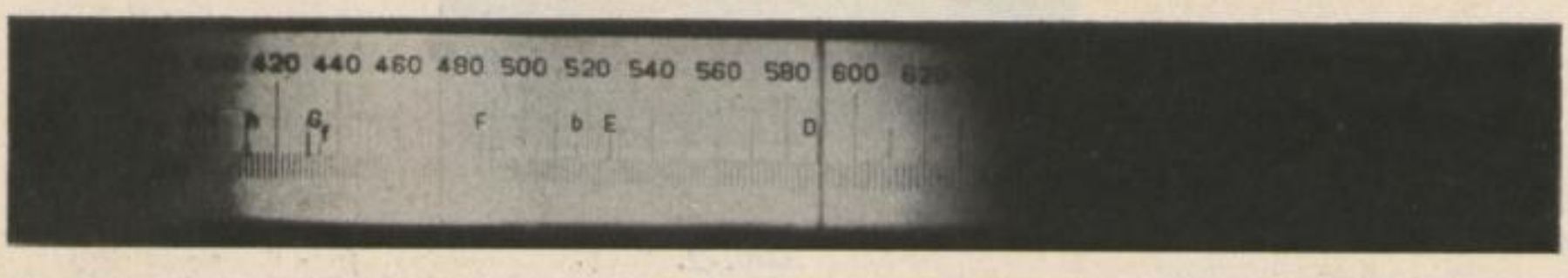
2



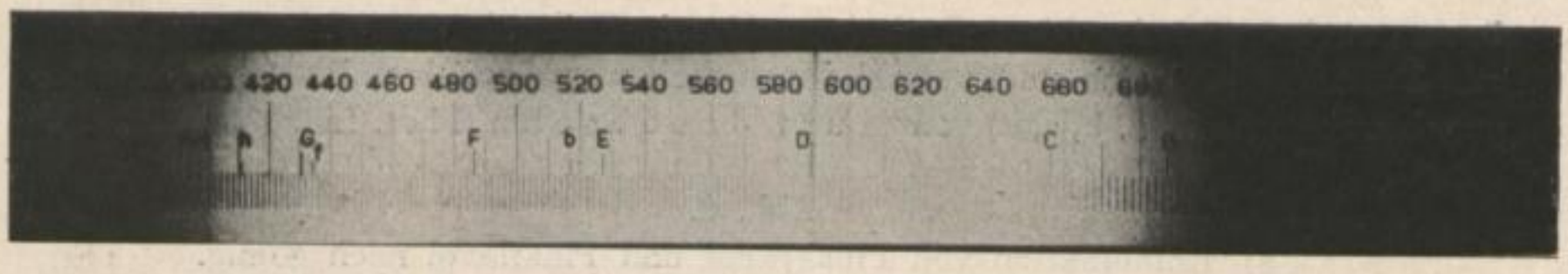
3



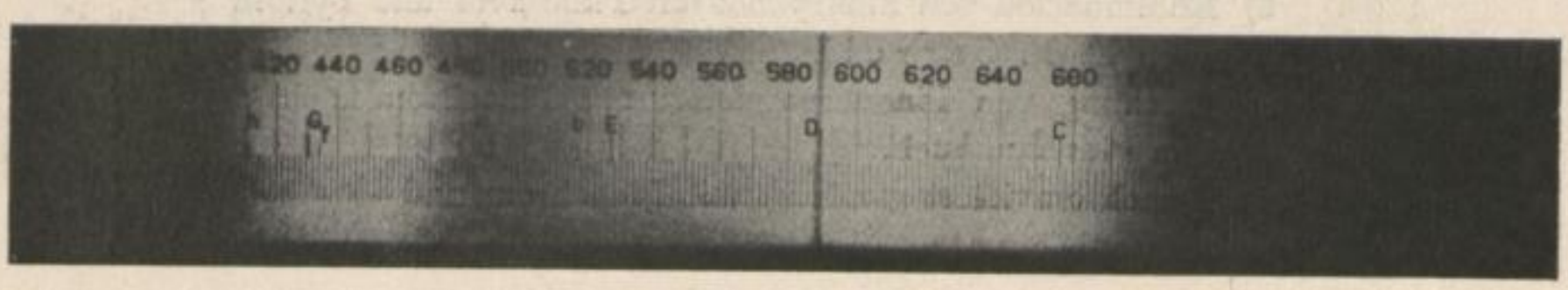
4



5



6



Nr. 1. Bromsilber-Gelatine (Perutz-Superrapid). — 2. Orthochromatische Platte (Perutz, Braunsiegel; Type Erythrosin). — 3. Ebenso, mit gedämpfter Blauempfindlichkeit (Perutz „Eosin“). — 4. Panchromatische Platte mit Orangerot-Empfindlichkeit (Perutz „Chromo A“). — Type Äthylrot mit Chinolinrot-Zusatz. — 5. u. 6. Panchromatische Platte, deren Empfindlichkeit weit ins Rot reicht (5. Perutz „Chromo B“; 6. Panchromatische Rapid-Platte) — (s. S. 244).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel VIII. Verschiedene Testobjekte zur Prüfung des Auflösungsvermögens photographischer Platten.

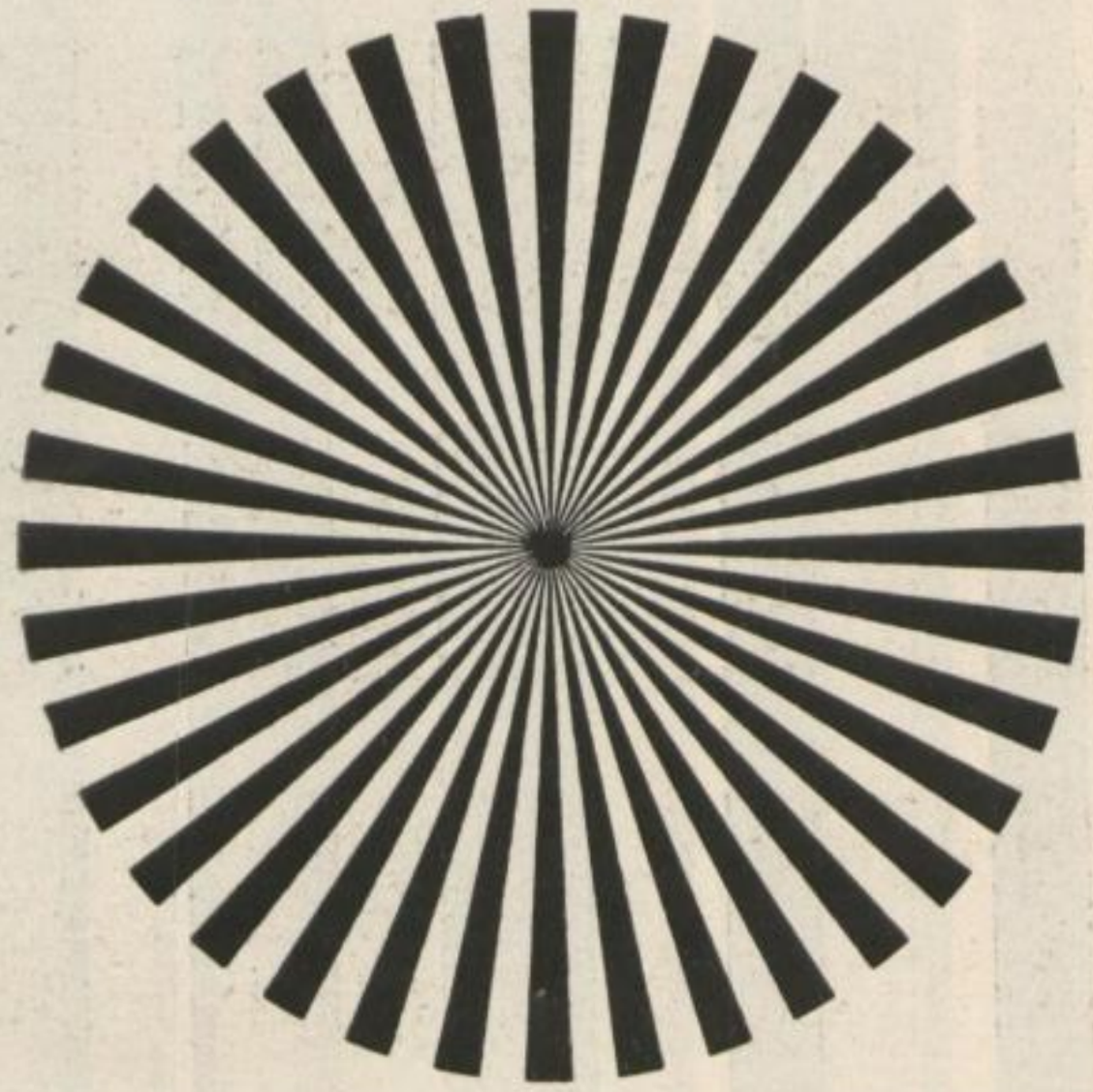


Abb. A. J. E. Jewell, „Testing-Object“ für photographische Linsen (s. Seite 111).

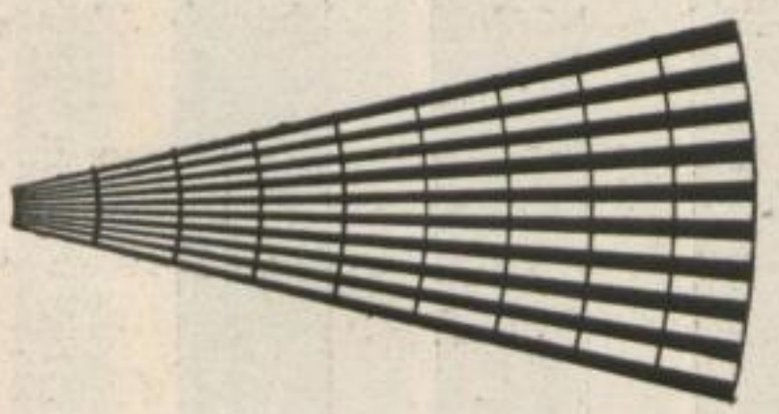


Abb. B. Testobjekt von Kenneth Huse (s. Seite 525).

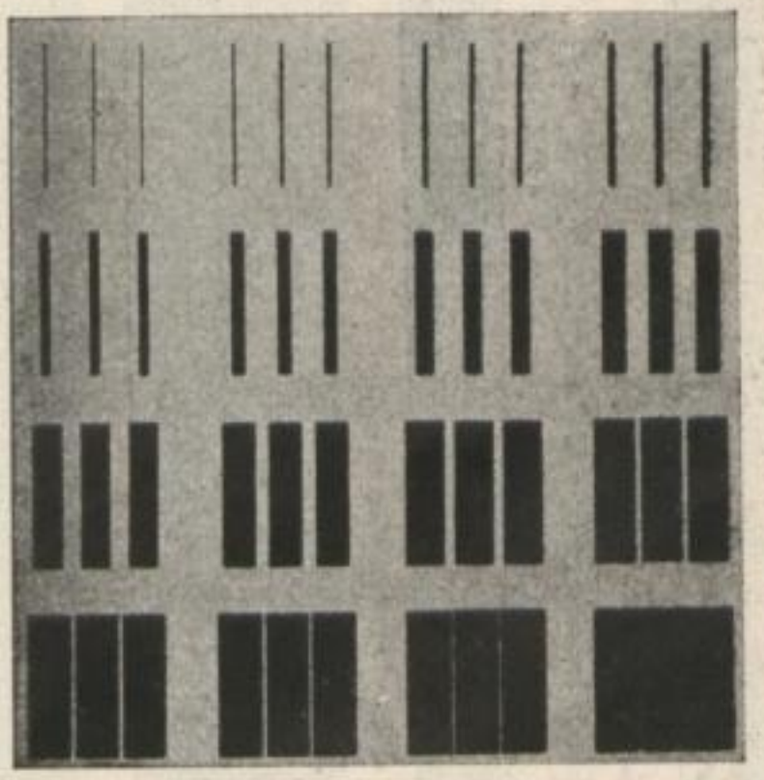
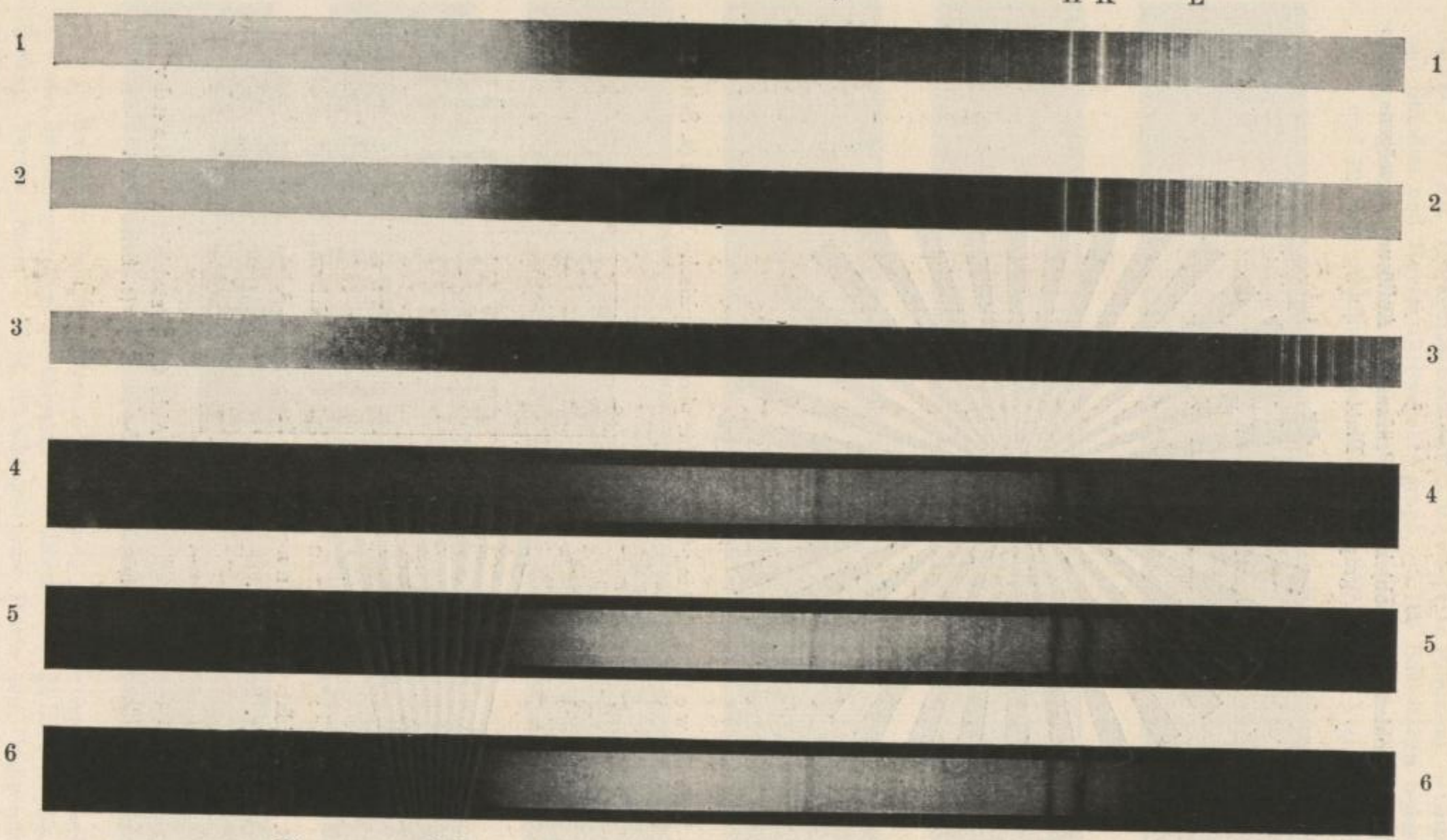


Abb. C. Testobjekt von Sandvik (s. Seite 527).

Tafel IX. Phänomene der normalen und der Überbelichtung von Bromsilbergelatine.



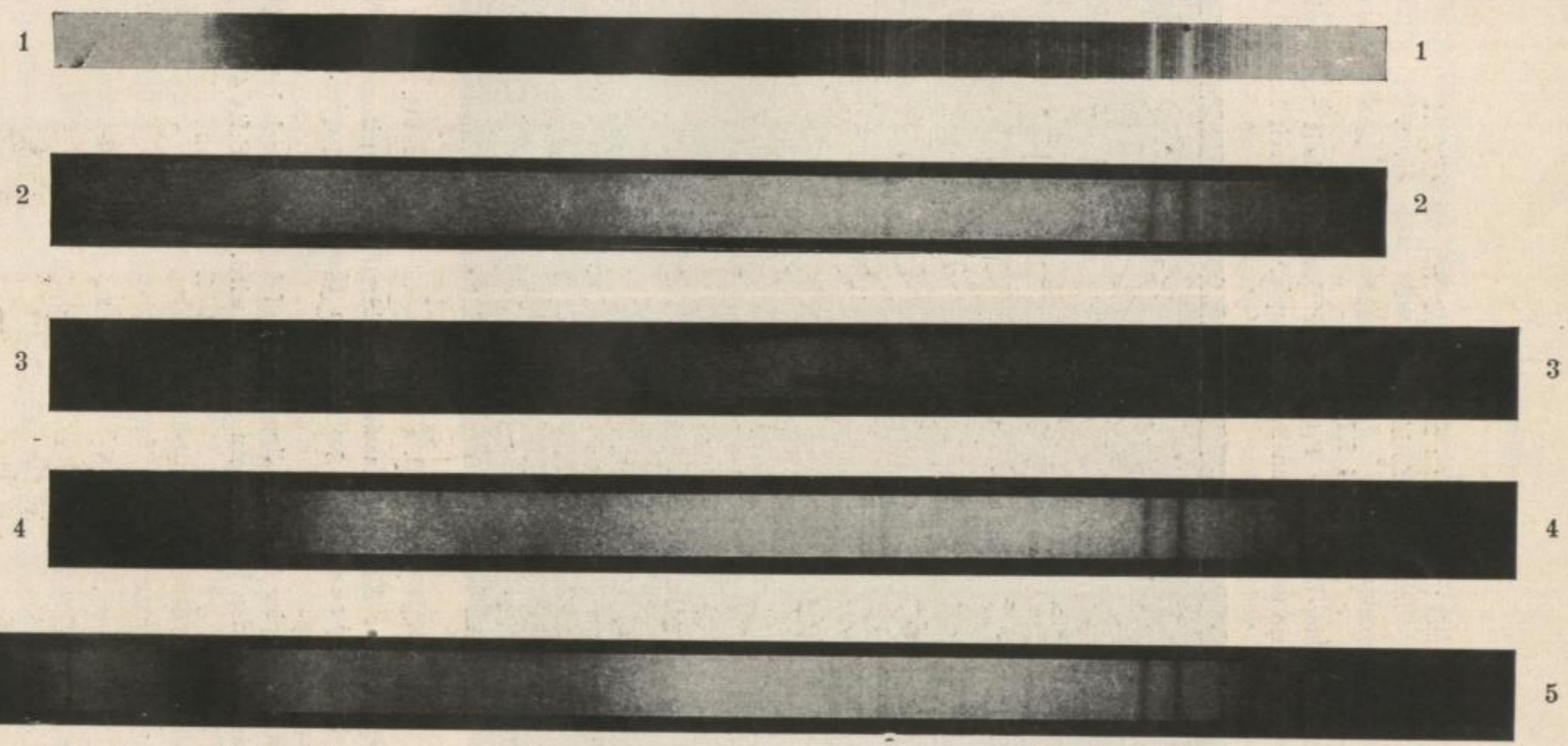
Sonnenspektrum fau Bromsilbergelatine mit Entwicklung.
1. Normale Exposition. — 2. Doppelte, — 3. 10 fache, — 4. 9000 fache, — 5. 27 000 fache, — 6. 135 000 fache Exposition.
Die Spektren 4—6 zeigen Umkehrungserscheinungen (Solarisation) — (s. Seite 533).

Tafel X. Phänomene der Überbelichtung bei farbenempfindlichen Platten. (J. M. Eder.)

Sonnenspektrum auf farbenempfindlicher Bromsilbergelatine mit Entwicklung.
1. Normale Exposition. — 2. Doppelte, — 3. 10 fache, — 4. 9000 fache, — 5. 27 000 fache, — 6. 135 000 fache Exposition.
Die Spektren 4—6 zeigen Umkehrungserscheinungen (Solarisation) — (s. Seite 533).

1. Normale Exposition. — 2. Doppelte, — 3. 10 fache, — 4. 9000 fache, — 5. 27 000 fache, — 6. 135 000 fache Exposition.
Die Spektren 4—6 zeigen Umkehrungserscheinungen (Solarisation) — (s. Seite 533).

Tafel X. Phänomene der Überbelichtung bei farbenempfindlichen Platten. (J. M. Eder.)



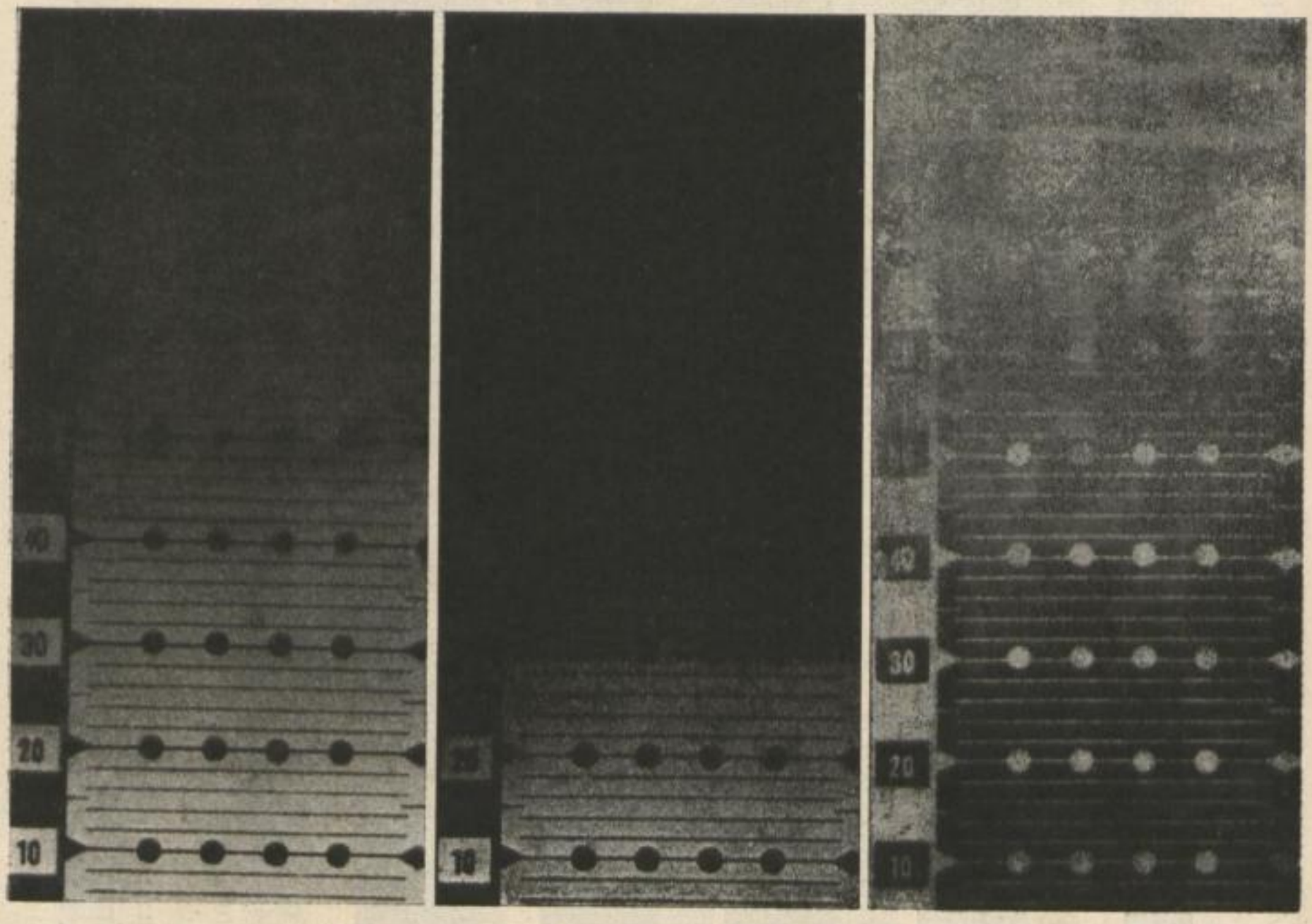
Sonnenspektrum auf farbenempfindlichen Platten.

1. Normales Negativ auf einer Orthochromplatte. — 2. Solarisation einer Orthochromplatte. — 3. Beginn der Solarisation bei einer Erythrosinplatte (7000 fach über das Normale exponiert). — 4. Fortschreiten der Solarisation bei einer 15 000 fach überbelichteten Erythrosinplatte. — 5. Solarisations-Erscheinung bei einer mit Zyklamin sensibilisierten Bromsilbergelatineplatte bei 20 000 facher Überbelichtung; zeigt bei A den sog. „Herschel-Effekt", sonst deutliche gewöhnliche Solarisations-Erscheinungen (s. S. 533).

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Tafel XI.

Verwendung des Graukeiles Eder-Hecht zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papier für Autotypie in der Buchdruckpresse und im Schnellpressenkupferdruck (nach Karl Albert).



A. B. C.

Abb. A. Halbtonwiedergabe einer Autotypie nach einer Eder-Hecht-Sensitometer-Skala in der Buchdruckpresse auf gestrichenem Kunstdruckpapier.

Abb. B. auf Zeichenpapier.

Abb. C. Tiefdruck auf Kanzleipapier für Schnellpressen tiefdruck (erscheint als Negativ, weil die Schwärze aus den Vertiefungen gedruckt wird. (Vgl. Seite 439.)

mischt und das so frei gemachte Brom im Luftstrom in Jodkaliumlösung geleitet und das ausgeschiedene Jod sofort mit Thiosulfat titriert. Jod ist äquivalent Brom. Die Bestimmung in einer solchen bereits vorbereiteten Lösung erfordert kaum 10 Minuten.

Die Bestimmung von Jod- neben Brom- und Chlor-Ion. Die mit Salzsäure schwach angesäuerte Lösung wird mit Palladiumnitrat, $Pd(NO_3)_2$, in der Kälte in mäßigem Überschuß versetzt, der entstandene schwarze Niederschlag von Jodpalladium (PdJ_2) mehrere Tage absitzen gelassen. Durch Asbest filtriert, mit warmem Wasser gewaschen und bei 100° getrocknet.

Die Bestimmung von Chlor- neben Brom- und Jodion[1]). Die Methode beruht auf der Oxydation von Chlor-, Brom- oder Jodwasserstoff durch mit Bromsäure in Gegenwart von Azeton. Arbeitsvorschrift: Die Lösung der Halogenide in 60 ccm Wasser wird mit 300 ccm Azeton und mit soviel Schwefelsäure versetzt, daß eine ungefähre $\frac{N}{1}$-Lösung resultiert. Dann wird tropfenweise 1%ige Kaliumbromatlösung zugefügt, wobei zuerst Jod und dann Brom in Freiheit gesetzt und vom Azeton gebunden werden. Schließlich werden noch 3 ccm Bromatlösung zugefügt, wodurch die gelbe Lösung farblos wird. Dann wird sofort der Bromatüberschuß durch sehr langsames Zutropfenlassen von 50 ccm 5%iger Ferrolösung reduziert und das vorhandene Chlor nach Zusatz von 2 ccm Salpetersäure und etwas Eisenalaun als Indikator nach Volhard titriert, oder bei sehr geringen Mengen von Chlor auf nephelometrischem Wege ermittelt.

Die Bestimmung allerkleinster Jodmengen neben Chlor-Bromion geschieht nach von Fellenberg[2]), wobei auf das Original verwiesen wird.

Durch Reduktion zu kolloidalem Silber[3]). Man versetzt die zu untersuchende Silberlösung (Zerstörung der organischen Substanz wie oben Seite 584) mit Zufügung von n-Natriumhydroxyd und etwas Glyzerin. Nach dem Aufkochen entsteht eine vom Silbergehalt abhängige Färbung (gelbbraun, braun, dunkelbraun bis schwarz). Man kann so sicher 2×10^{-6} g Silber in je 50 ccm oder $4{,}10^{-5}$ g Silber in 1 l erkennen. Ammoniak darf nicht vorhanden sein, da es die Entwicklung der Färbung beeinträchtigt.

1) R. Berg, Z. f. anal. Chem. 69 (1926) 342. 369.
2) von Fellenberg. Z. f. anal. Chem. 65 (1924) 326.
3) Whitby. Z. f. anorg. Chem. 67 (1910) 62.

Zu Seite 547. Gravimetrische Silberbestimmung. Handelt es sich um etwas größere Mengen von Silberverbindungen, so kann man mit Vorteil die unterphosphorige Säure zur Reduktion anwenden und das so erhaltene Silber gravimetrisch bestimmen [1]). Arbeitsvorschrift: Die Silbersulfat- oder Silbernitrat-Lösung wird auf dem Wasserbade mit ungefähr m/4-unterphosphoriger Säure (hergestellt durch Verdünnen der käuflichen etwa 25%igen Lösung) im Überschuß versetzt und solange bei Wasserbadtemperatur gehalten, bis die über dem grauen Silberniederschlag befindliche Flüssigkeit vollkommen klar geworden ist. Es wird durch ein Blaubandfilter filtriert und solange mit heißem Wasser gewaschen, bis einige Tropfen Waschwasser n/10-Kaliumpermanganatlösung nicht mehr entfärben. Nach dem Trocknen wird der Niederschlag vom Filter entfernt, dieses für sich verascht, die Asche zum Niederschlag gebracht und das im Porzellantiegel befindliche Silber mit der vollen Flamme eines Bunsenbrenners erhitzt und dann gewogen.

Zu Seite 411 und 452. Reduktionstabelle von Eder-Hecht-Graden auf Scheiner-Grade. Emmermann (Phot. Chronik, 1928, S. 51) und Neugebauer geben eine aus der Theorie des Scheiner-Systems abgeleitete Reduktions-Tabelle (gegenüber der von Eder empirisch ermittelten, mit der Plattensorte etwas schwankenden Tabelle), welche folgende Werte aufweist:

18°	Scheiner	87°	Eder-Hecht	25°	Scheiner	106°	Eder-Hecht
19°	„	90°	„	26°	„	108°	„
20°	„	92°	„	27°	„	111°	„
21°	„	95°	„	28°	„	113°	„
22°	„	98°	„	29°	„	116°	„
23°	„	100°	„	30°	„	119°	„
24°	„	103°	„				

Diese Tabelle ist beachtenswert, weil die als fikitive Bewertung der Scheiner-Grade, unbekümmert um die Sondereigenschaften der Plattensorten, eine Vereinheitlichung der Bewertung der Scheiner-Grade für hochempfindliche Platten anbahnt.

1) L. Moser und Th. Kittl. Z. f. anal. Chem. 60 (1912) 154.

NAMENVERZEICHNIS.

(Ziffern bedeuten Seitenzahlen.)

A.

Abney 14. 48. 174. 175. 203. 250. 362. 385. 394. 466.
Abbot 331. 333. 334. 337.
— und Fowle 332.
Acworth 38.
Adams und Haller 227.
Agfa 11. 138. 242. 280. 305. 308. 310.
Albert E. 542.
Albrecht 503.
Angström 363.
Arens 538.
— und Eggert 184. 202. 564.
Askaniawerk 443. 445. 473. 474. 493. 498.
Auer 4.

B.

Baars und Held s. Held.
Baillaud 349. 367. 460.
— und Jouaust 368.
Baker E. A. 203.
— S. G. und Hirst 461.
— Thorne 42. 58. 62. 63. 73. 74. 77. 79 bis 81. 555.
— und Balmain 248. 259.
Baldsiefen, Sease und Renwick 235.
Balmain und Baker s. Baker.
Bank 300.
Banzoni 508.
Barnett 369.
Barth und Eggert 573.
Baubigny und Bekk 548.
— und Chavanne 548.
Bayley 48.
Bazzoni 475.
Bechstein 475.
Beck 164. 548.
— und Eggert 355. 373.
Becker A. 180.
— und Werner 180.
Beckmann u. Oudt 258.
Beer 467.
Bekk 548.
Belliot 536.
Benson s. Renwick.
Berliner und Scheel 108. 325. 336. 361.
Beutler 500.
Bing 3.
Bloch L. 11. 306. 308. 310. 317. 355.
— und Horton 136.
— O. 38. 61. 63. 73. 75. 76. 135. 158. 468. 469.
Blunk 574.
Boehm 374.
Bohner 548.
Bouty 508.
— und Schön s. Schön.
Brayant 269.
Brickwedde 13.
Brigg 388.
Briggs, Jones und Hall s. Jones.
Brandt s. Emmermann.
Bronkhorst 573.
Brothers 181.
Brückmann 337.
Buisson 251.
— und Fabry 251. 337. 394. 475.
Bull 465. 466.
Bullock 132.
Bunsen 97. 124. 184. 352. 440.
— und Roscoë 3. 7. 12 bis 14. 85. 124. 303. 371. 385. 440.
Burgess s. Waldner und Burgess.
Burkhard 373.
Burton 161.

C.

Callier 466 bis 468. 482
Calzavara 340.
Canals 376.
Capstaff 146. 484.
Carroll 538.
Cartwright 465. 466.
Casella 256.
Challonge s. Lambert.
Chambers s. Jones und Chambers.
Channon 177.
Chavanne s. Baubigny.
Christensen 83.
Clark 75. 135. 227. 553. 583.
Claudet 1. 2. 537.
Clerc 93. 204. 468. 469.
Conklin 61.
Conrad und Hausmann 433.
— und Schumacher 161.
Cornu 221. 512.
Crabtree 146.
— und Dundon s. Dundon.
— — Ives s. Ives.
Crittenden 341. 381.
Crouch s. Sheppard und Crouch.

D.

Dadieu 164.
Dalezki 171.
Davidson 82.
Davis 203. 206. 210. 341. 381. 386. 453.
— und Gibson 333. 339. 341 bis 346. 368. 381.
— und Walters 555.
Debeil 363.

Debenham 162.
Deisch und Jones s. Jones.
Demichel 527.
Diehle s. Jacobsohn und Diehle.
Dorneich 503.
Dorno 269. 300. 301. 336. 337. 433. 435.
Draper 537.
Drecker 515.
Driffield 37. 74.
— s. a. Hurter u. Driffield.
Duncan 475. 508.
Dundon 237.
— und Crabtree 156.
Dziobek 322. 328.

E.

Eastman Kodak Co. 242. 530. 537.
Eberhard 48. 149. 150. 443.
Eder 1. 2. 5. 8 bis 10. 24 bis 27. 29. 30. 34. 45. 58. 59. 72. 73. 96. 102. 103. 124 bis 129. 132. 133. 137. 140. 147. 156. 157. 160 bis 162. 164. 171. 174. 177. 186. 189. 204. 206. 213. 218. 221. 225. 230 bis 232. 235. 237. 238. 242. 243. 246 bis 250. 252. 254 bis 258. 260. 264. 267. 268. 270 bis 272. 273. 274. 276 bis 284. 297 bis 299. 304. 322. 323. 329. 341. 348. 350. 353 bis 355. 358. 362. 364. 365. 372 bis 375. 381. 384. 387. 389. 394. 396. 397. 408. 415. 417. 419. 425. 435. 440. 442. 444. 445. 447. 451. 452. 465. 488. 517. 521. 531 bis 534. 537. 540. 542. 545. 546. 554. 567. 568. 582. 583.
— -Hecht 10. 29. 30. 50. 124. 125. 128. 260. 269. 278. 281. 282. 354. 384. 397. 435. 436. 491. 563.
Eder und Valenta 72. 73. 147. 187. 213. 218. 221. 225. 230. 247. 264. 273. 277. 279. 280. 298. 299. 305. 348. 354. 358. 364. 366. 372. 375. 533. 546. 563. 567. 568.
— -Wentzel 85.
Eggert 546. 573. 577.
— und Arens 202.
— und Barth 573.
— und Beck 355. 373.
— und Noddak 580.
— und Rahls 242.
— und Schmidt 234.
Elliot und Sheppard s. Sheppard.
—, Jones und Nutting s. Nutting.
Elster und Geitel 298. 503.
Emmermann 50. 52. 95. 99. 284. 419. 425. 428. 429. 530. 559. 586.
— und Brandt 559. 560.
Englisch 174. 203. 372. 533.
Ewald 494.
— und Flügge s. Flügge.
Exner 275.

F.

Fabry 212. 251. 252. 327. 328. 355 bis 357. 462.
— und Buisson 251. 337.
Fajans 184.
Farbwerke vorm. Meister Lucius und Brüning 256. 274. 305. 308.
Fechner 27. 107. 112.
Fellenberg 585.
Ferguson 37. 465. 470. 486.
Fizeau 14.
Flügge und Ewald 461.
Foige 268. 380.
Formstecher 3. 4. 29. 94. 95. 102 bis 104. 200. 201. 203. 207. 208.
Forrest 378.
Forsythe 330.
— und Hyde s. Hyde.
Foucault 14.
Fowle s. Abbot und Fowle.
Franke 573. 575. 577.
Fresenius 543.
Freundlich 497. 498.
Friedrich 576.
— und Koch 576.

G.

Gamble 376.
Garriga 376.
Gehrke 324. 325.
Geitel s. Elster und Geitel.
Gibson 279. 284. 341. 381.
— und Davis s. Davis.
Glocker 574.
Goerz 493.
Goldberg 10. 11. 44. 90. 94. 97. 102. 103. 384. 394. 396. 397. 465. 475. 476. 482. 483. 488. 491. 492. 510. 515. 517. 522. 524. 563.
Goodwin 96.
Goos 498.
Goraczynski 337.
Green 484.
Grinten, van der 96. 129.
Guillemet und Hanot s. Hanot.

H.

Haigh 299.
Hall, Jones und Huse s. Jones.
Haller und Adams s. Adams.
Halm 199 bis 201.
Hanot und Guillemet 139. 210.
Hansen G. 504.
Harrington 508.
Harrison 246. 252. 253. 460. 475. 508.
Hartmann 9. 11. 247. 367. 394. 395. 401. 471. 473. 475. 476. 492.

Hardwich 13.
Hardy 341. 381. 454.
— und Jones 145.
— und Perrin 105.
Haschek 574.
Hauff 51. 373.
Hausmann und Conrad s. Conrad.
— und Krumpel 300.
Haußer und Wahle 300.
Hay 521.
Hecht 124. 396.
Hefner 16. 321. 322. 361. 363. 447.
Held und Baars 192.
Helmholtz 275. 286. 304. 306.
Herbart 27.
Herlango 189. 431. 435.
Hermagis 393.
Herschel 536.
Heyde 393.
Heydecker 172.
Hibbard 585.
Higson 26.
Hilger 219. 220. 223. 226. 231.
Hirst s. Baker S. G. und Hirst.
Hnatek 186. 252. 253. 256. 257. 284. 326. 443.
Höchster Farbwerke 256. 274. 305. 308.
Hodgson, Mees und Jones s. Jones.
Hooft 106.
Horton s. Bloch.
Howe 206. 460.
Hrdliczka J. 166.
Hubbard s. Caroll und Hubbard.
Hübl 90. 91. 95. 178. 274. 278. 279. 306. 307. 396.
Hulbert 303.
Hurter 37. 74.
— und Driffield 8. 9. 24. 25. 30. 32. 35. 37. 38. 40. 42 bis 45. 47 bis 50. 56. 59 bis 63. 66. 72. 73. 79. 85. 90. 91. 94. 103. 140. 141. 152. 158. 205. 271. 364. 385. 389. 444. 458. 469. 475. 555. 563. 577.
Huse 522. 525. 526. 528.
—, Jones und Hall s. Jones.
— und Jones 328. 349.
— und Meulendyke 235.
Hyde und Forsythe 330.

I.

Ilford 308.
Ives C. E. und Crabtree 458. 488.
— H. E. 181. 182. 288 bis 291. 294. 296. 341. 380.
— und Luckiesh 288.
Ingersoll 493.

J.

Jacobsohn 55. 169. 170. 242. 280. 307. 327. 357. 358. 419. 421. 422. 424. 426. 428. 556. 558. 560. 569. 563.
— und Diehle 326.
Jankó 86. 91.
Janssen 2. 36. 174.
Jewell 527.
Jonas 582.
Jones Chapman 6. 7. 38. 91. 364. 383. 385. 393.
— L. A. 13. 17. 18. 60. 65. 87. 92. 103. 106. 203. 205. 267. 269. 274. 284. 307. 325. 335. 341. 367. 381. 453. 454. 460. 475. 529. 572.
—, Elliot und Nutting s. Nutting.
—, Hall und Briggs 66. 138. 139. 195. 198. 199.
—, Hodgson und Mees 357.
—, Huse und Hall 65. 69. 195 bis 200. 202.
—, Nutting und Mees s. Mees.
Jones und Chambers 323. 324. 453. 454.
— und Deisch 145.
— und Hall 67 bis 69. 71. 195. 252.
— und Hardy s. Hardy.
— und Huse 72. 179. 182. 195. 196. 328.
— und Nutting s. Nutting.
— und M. E. Rusell 29. 30.
— und Sandvik 154. 245. 253. 258.
— und Wilsey 26.
Jordan 443.
Jouaust 368. 370.
— und Baillaud s. Baillaud.
Just 184. 185.

K.

Kalle 129.
Karschulin und Plotnikow s. Plotnikow.
Kellner 15. 180. 181. 200. 201. 203. 206 bis 208. 444. 460. 574.
Kelvin 325.
Kieser H. 551. 552.
— K. 99. 101. 165. 166. 448. 491. 492. 554.
King 394.
Kipp und Zonen 503.
Kittl 586.
Kleinschmidt 435.
Knoche und Scheffer s. Scheffer.
Koblentz 367.
Koch 181. 182. 497. 500. 502. 504. 511. 521. 574.
— und Blunk 574.
— und Friedrich 574.
Kodak 95.
Kögel 304.
Kohl 494.
Kohlrausch 275. 305. 361.
König A. 28.
Köttgen 363.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Kron 15. 65. 72. 131. 174. 175. 181. 186. 190. 191. 194 bis 202. 206. 208. 386. 457.
Krönke 574.
Krumpel 350. 363. 412. 436.
— und Hausmann s. Hausmann.
Kuchinka 2. 542.
Kuffner 448.
Kujawa 476.
Kutzleb 246.

L.

Labussiére 469.
— und Lebelle 166. 168.
Lainer und Hrdliczka 93. 352.
Lambert und Chalonge 507. 508.
Lanet de Limency 2.
Langer 397.
Langley 363.
Lebelle und Labussiére s. Labussiére.
Leder 363.
Lefèvre 483.
Lehmann E. 346. 350. 546 bis 548.
— und Bohner 548.
Leiber 284.
Leimbach 181. 251. 252.
Leistner 548. 553.
Lemoin und Wallace s. Wallace.
Lennan Mc. 231.
Leonhard 256.
Lerebours 537.
Leszynski 165. 208. 246. 536.
Leumann 465. 475.
Lewandowsky 1.
Liesegang P. E. 3.
Lighton 106.
Linke 336.
Listing 212.
Lobel 369. 483. 520.
Loveland 57.
Lukiesh und Ives s. Ives.
Luggin 185. 186. 533.
Lühr 550.
— s. a. Weigert.
Lumière Gebr. 206.
— und Seyewetz 138. 139.
Lumina-Gesellschaft 294.
Lummer 329.
Lüppo-Cramer 15. 20. 53. 132. 148. 150. 155. 160. 161. 182 bis 185. 205. 232. 260. 261. 263. 426. 531. 533. 536 bis 538. 545. 568 bis 570. 581 bis 583.
Luther 61. 62. 488. 548. 553.
Lux 393. 465. 475.

M.

Mach E. 7.
Mainkur Farbwerk 256.
Martens 11. 463. 465. 476. 492.
Mathews 475. 508.
Matsumaye 583. 584.
Mauz 538.
Maximowitsch 465. 475.
Mees 34. 59. 60. 84. 91. 92. 96. 101. 132. 154. 226. 227. 234. 339. 341. 342. 367. 368. 381. 510. 511. 520. 524.
—, Hodgson und Jones s. Jones.
—, Nutting und Jones s. Nutting.
— und Rawson 510.
— und Sheppard s. Sheppard.
— und Wratten 226.
Meidinger 24. 25. 57. 144. 158. 159. 541.
Meißner und Wahle 337.
Merck 341.
Merton s. Micholson.
Mervini und Padoa s. Padoa.
Meulendyke und Huse s. Huse.
Meyer H. 332.
Michalke 174. 355.
Michel 572.
Michika 536.
Micholson und Merton 461.
Miethe 34. 174. 187.
Miyanishi 536.
Moll 503.
Moreau 467.
Moser 36. 586.
Mucklow 441. 442.
Müller 548. 552.
Mynster s. Winther und Mynster.

N.

Nernst 329.
Neuburger 503.
Neugebauer 164. 284. 586.
Nickol 372.
Nietz 74. 79. 142. 143. 152. 153. 158.
— und Whitaker 144. 145. 148.
Noddack s. Eggert.
Novak H. 34. 374.
Nutting 26.
—, Jones und Elliott 301.
—, — und Mees 79. 94. 95. 112.
— und Jones 88.

O.

Obernetter 6.
Odencrants 133. 178. 180. 182. 203. 206. 384. 396.
Osram-A.-G. 329.
Ostwald 11. 275. 305. 306. 309. 493.
Oudt und Beckmann s. Beckmann.
Oven 228. 244.

P.

Padoa und Mervini 171.
Papesch 93. 151.
Parkhurst 181. 443.
Patzelt 329.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Perrin und Hardy s. Hardy.
Perutz 45. 244. 402. 448.
Pettit 337.
Pirani 329.
Pizzighelli 102.
Planck 324. 325. 348.
Plotnikow 171. 177. 325. 539.
— und Karschulin 105.
Porter 103.
Precht 174. 187. 257. 364.
Pretschner s. Schmidt.
Priest 329. 337. 348.
Pritchard 158. 159.
Prokesch 1.
Przibyllock 497.
Purdy 488.

R.

Rahts s. Eggert und Rahls.
Rawling 386.
Rawson s. Mees.
Rayleigh 299. 338.
Regnault 3.
Renwick 54. 61. 79. 89. 511. 524.
—, Baldsiefen und Sease 235.
— und Benson 475.
— und Bloch 468. 469.
— und Sease 553.
Reinecke 95.
Reinlicht-A.-G. 290.
Rheden 162. 268. 338. 517.
Robertson und Thwaites 574.
Rohrbecks Nachf. 347.
Röntgen 576.
Rosa und Taylor 303.
Roscoë 440.
— s. a. Bunsen.
Rosenberg 500. 502.
Ross 180. 254. 258. 510. 520. 522 bis 524. 544.
Rössiger und Valentiner s. Valentiner.
Rowland 225. 230.
Royal Society 38.

S.

Sandvik 510. 527. 528. 529.
— und Jones s. Jones.
— und Silberstein 529.
Schaum 305.
Scheel und Berliner s. Berliner.
Scheffer W. 442. 511. 515. 516. 520. 526.
— und Knoche 168.
Scheffers 26.
Scheiner 8. 9. 206. 365. 385. 392. 444 bis 449. 524. 563.
Schell 181.
Schering H. 483.
Schmidt R. 571. 572.
— und Eggert s. Eggert.
— und Haensch 214. 222. 228. 310. 463. 492.
— H. H. und F. Pretschner 546 bis 548. 551. 552.
Schmieschek 246. 583.
Schoen 460.
Schön und Briggs 535. 537.
Schott 269.
Schrott K. 465. 475.
— P. 389.
Schrötter F. 324.
— H. v. 300.
Schulz 494.
Schumann 231.
Schwarzschild 14. 15. 66. 104. 162 bis 164. 174 bis 182. 187 bis 192. 194 bis 196. 199. 202 bis 205. 207. 209. 247. 284. 354. 356. 385 bis 387. 403. 410. 448. 570.
Sease, Renwick und Baldsiefen 235.
Seidel 553.
Seyewetz und Lumière s. Lumière.
Shepherd 475. 484.
Sheppard 24. 25. 57. 73. 77. 79. 81. 82. 363. 367. 394.
Sheppard und Ballard 24. 26. 552.
— und Crouch 136.
— und Elliot 74. 135. 549.
— und Mees 142. 143. 152. 180. 206. 271. 367.
— und Trivelli 140.
Siemens und Halske 384.
Silberstein 529.
— und Sandvik s. Sandvik.
— und Tuttle 468. 469.
Simon 206. 524.
Slade 103.
Spindler und Hoyer 228.
Spurge 441. 442.
Stammreich s. Stenger.
Steigmann 548. 569.
Steiner s. Fajans und Steiner.
Steinheil 213. 214. 218. 222. 223.
Stenger 1. 257.
— und Kujawa 476.
— und Stammreich 569.
Stewart 87.
Stoeckelberg 329.
Stolze 10. 34. 38. 372. 383. 394 bis 396.
Strauß 48.
Svedberg 82.

T.

Tageslichtlampe G. m. b. H. 290.
Talbot 574.
Taylor 285. 440. 442.
— und Rosa s. Rosa.
Thwaites 574.
Thorp 225.
Töpfer s. Askaniawerke.
Toy 66 bis 68. 176. 470. 508.
Trapp und Münch 99.
Trivelli 57. 537. 538. 549.
— und Sheppard s. Sheppard.
Tschermak 306.
Tugman 500. 523.
Tuttle s. Silberstein.

U.
Ulbricht 466.

V.
Vahle 332.
Valenta 72. 73. 91. 546 bis 548. 554.
— und Eder s. Eder.
Valentiner und Rössiger 363.
Vegard 181.
Vierordt 277.
Violle 366.
Vogel H. W. 3. 10. 91. 213. 230. 304. 372. 388. 441. 442.
Volhard 585.
Volmer 536.

W.
Wadsworth 523.
Wahle s. Haußer und Wahle.
— und Meißner s. Meißner.
Waldner und Burgess 329. 348.
Wallace 367.
— und Lemoin 181.
Walter 573.
Walters s. Davis.
Warnerke 4 bis 6. 162. 383. 393. 394.
Watkins 458.
Weber 27. 107. 112. 206. 435.
Wegscheider 183.
Weidert 298.
Weigert 488. 550.
— und Lühr 550 bis 552.
Weinland 208. 209. 386.
Weiß 553. 569.
Weisz 285.
Wentzel 85. 91. 396. 548. 554. 563.
Werner und Becker s. Becker.
Wernicke 20.
Whitaker und Nietz s. Nietz.
Wiener 20.
Wildermann 367.
Wildt 510.
Willis s. Winchester.
Wilsey 75. 78. 79. 82. 155.
Winchester und Willis 284.
Winther 299. 300.
— und Mynster 273. 475. 493.
Wolters 573.
Wood 164. 225.
Woodbury 3. 4. 10. 384.
Worthing 341. 381.
Wratten 342.
— und Mees s. Mees.
Wulff 503.
Wynne 458.

Z.
Zeiß 214. 503 bis 507.
Zeiß Ikon A.-G. 476. 482. 492.
Zelger 467. 468. 470.
Zettnow 279.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SACHVERZEICHNIS.

(Ziffern bedeuten Seitenzahlen.)

A.

Abhängigkeit der Empfindlichkeit photographischer Schichten von der Wellenlänge des Lichtes 231 bis 242.
— — Gradation von der Wellenlänge des Lichtes 246 bis 256.
Abklatschgitter rür Spektrographen 225.
Absorptionskurven für Bromsilber 234.
Abweichungen des Gamma mit steigender Lichtintensität 65.
Agfa-Farbtafel 308. 310. 311.
—, Reflexionsvermögen der einzelnen Felder 311. 313.
Agfa-Porträtfilm, Schwärzungskurve 51.
Aktinität der Lichtquellen 16. 17. 325. 353 bis 359.
—, relative 17. 325. 353 bis 359.
—, — der Lichtquellen, praktische Bedeutung 353 bis 357.
Aktinitätsverhältnis 314.
—, Kurven 315.
Aktinometrie von Fixsternaufnahmen 187.
Aktinophotometer 393.
Akridinorange als Sensibilisator 227. 256.
—, Spektrumphotographie 227.
Albuminpapier, Gradationsumfang 91.
Alizarinblaubisulfitplatten 535.
Aluminiumoxyd, Reflexionsvermögen 303.
Amidolentwickler in der Sensitometrie 192.
Ammoniumbichromatlösung als gelbes Lichtfilter 273.
Analyse von Emulsionen 544. 583.
Anomalien der Schwärzungskurven bei verschiedenen Bromsilbergelatineemulsionen 72 bis 82.
Anorthophotische Emulsionen 74. 81. 82.
Anstieg der Schwärzungskurve-Empfindlichkeit 166.
Aristopapier s. Chlorsilbergelatinepapier.
Äthylrot 534.
Äthylrotplatten, Gamma der 257.
Auflösungsgrenze 522.
Auflösungsvermögen 511. 520.
—, Abhängigkeit von dem Kontrast des Objektes 529.
—, Einfluß verschiedener Entwickler 526.
— photographischer Platten 524.
—, Sensitometrie 520 bis 530.
—, Zusammenhang mit der Wellenlänge des Lichtes 529. 530.
Auge, Helligkeitsempfindung 17.
Auramin als Sensibilisator für Chromatgelatine 106.
Aureole 509.
Ausdehnung des Bildes, seitliche — während der Entwicklung s. Nachbareffekt.
Ausdehnungsfaktor 122.
Auskopierpapiere, Gradation 90.
—, Maximalschwärzung 87. 90.
—, Schwärzungskurven 85.
—, Weiterentwicklung 86.
—, Schwellenwert 90.
Azeton-Semikarbazon 531.
Azetylengas, gereinigtes 368.
Azetylenlicht 237.
—, Lichtfilter zur Überführung des in mittleres Mittagssonnenlicht 342.
— s. a. Normallichtquellen.

B.

Bariumsulfat, Reflexionskraft 303.
Baumwollcloth, Reflexionsvermögen von weißem 303.
Beleuchtungsfunktion der Lichtquelle 275.
Beleuchtungsstärke 18. 19.
—, Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der 323.
Belichtung, gerade Linie der normalen 58.
—, Grundgesetze der photographischen Wirkung 12 bis 19.
—, intermittierende, Wirkung auf photographische Platten 203 bis 210.
—, —, Differenz mit der konstanten Belichtung 209. 210.
—, Periode der normalen 33.

Belichtungsbereich, brauchbarer 113. 114.
Belichtungsmesser für Daguerreotypie 1. 2.
—, optische 383.
Belichtungstabellen und Reziprozitätsregel 13.
Belichtungsverhältnis 314.
Belichtungsverschiedenheiten 111.
Belichtungszeit, extrem lange 134.
—, Spielraum der korrekten 39. 59. 60.
—, variable und Schwärzungskurven 71.
Bergkristall, Ultraviolettdurchlässigkeit 298.
Beurteilung der Kopierpapiere 86.
Beziehungen zwischen photographischen Negativen und ihren Positiven 103.
— — Zeit und Intensität der Belichtung 64 bis 66. 69.
Bichromatgelatine s. Chromatgelatine.
Bildkontrast photographischer Kopierpapiere 106 bis 124.
Bildschärfe 520.
—, Prüfung auf 520 bis 530.
—, Sensitometrie 520 bis 530.
Blauempfindliche Platten 231.
Blauempfindlichkeit, Beeinflussung durch den Farbensensibilisator 426 bis 428.
—, Tabelle 427.
Blaufilter, Lösungen für 271. 272.
Blutfarbstoffe als Sensibilisatoren 243.
Borsäure, Reflexionsvermögen 303.
Brenzkatechin im Bromsilbernormalpapier 126.
Bromakzeptoren 15. 184. 531.
—, Aufhebung des Schwarzschild-Phänomens durch 15. 184.
Brombestimmung in Emulsionen 544. 584 bis 586.
Bromidzusatz zum Entwickler, Einfluß auf Inertia und Entwicklungsgeschwindigkeit 143. 144.
Bromsilber, Blauempfindlichkeit 231.
—, Empfindlichkeit für Blau und Grün in absolutem Maß 246.
—, maximale Wellenlängenempfindlichkeit 246.
Bromsilber-Diapositivplatten mit verschiedener Entwicklung 138.
Bromsilbergelatine, farbenempfindliche im Sonnenspektrum 235 bis 242.
— für Normal-Auskopierpapier 126 bis 128.
— — — —, Zusätze 126.
Bromsilbergelatine mittlerer Empfindlichkeit für Sensitometrie, Herstellung 231.
—, reine für Sensitometrie 231.
—, —, Sensibilisierungskurve 234.
—, wenig gereifte im Sonnenspektrum 233.
—, Tabelle der relativen Aktinität verschiedener Lichtquellen für 355.
Bromsilbergelatinediapositiv, Tonabstufungen 89. 90.
—, —, Tabelle 89. 90.
Bromsilbergelatinepapier, Schwärzungskurve 87.
Bromsilbergelatineplatten, blauempfindliche, besonderes Verhalten 249 bis 254.
—, Entwicklung bis Gamma unendlich 54. 55.
—, orthochromatische, besonderes Verhalten 254 bis 256.
—, panchromatische, besonderes Verhalten 257 bis 259.
Bromsilberkarton für Bromöldruck, Schwärzungskurve 101.
Bromsilberkollodium mit Sensibilisatoren, spektrometrische Prüfung 243.
—, Sensitometrie 425. 426.
—, Spektrumphotographie 232.
—, Verhalten gegen Herscheleffekt und Solarisation 582.
Bromsilberkörner, absolute Energie in 67.
Bromsilberpapier hinter Filtern 128,
Bromsilberpapier, Prüfung auf Kupfersalze 540. 583.
Bürste beim Entwickeln 134. 135.

C.

Callier-Effekt 466. 467.
Carbroprozeß, Gradation 106.
Charakteristische Kurve s. Schwärzungskurve.
Chininbisulfat als Ultraviolett undurchlässiges Filter 297.
Chinolinrotplatten im Spektrum 535.
Chlorbestimmung in Emulsionen 544. 584 bis 586.
Chlorbromemulsionen, Untersuchung 549.
Chlorbromsilbergelatine im Sonnenspektrum 233.
Chlorsilbergelatine, besonderes Verhalten 250.
— im Sonnenspektrum 233.

Chlorsilbergelatine, mit Sensibilisatoren, spektrometrische Prüfung 243.
Chlorsilbergelatine-Normalpapier, haltbares 125.
Chlorsilbergelatine-Papier, Gradation 92. 95.
—, Gradationsumfang vor und nach dem Fixieren 92.
—, Schwärzungskurve 86. 98 bis 100.
Chlorsilberkollodium im Sonnenspektrum 233.
Chlorsilbernormalpapier für Belichtungsmessung 3. 85. 124 bis 126. 352.
Chromatgelatine, Messung des Lichteffekts auf 104 bis 106.
—, Sensibilisierung 105. 106.
—, spektrale Lichtempfindlichkeit 105.
— und ultraviolettes Licht 106.
Chromatpapiere als Photometerpapier 128.
— — —, haltbare 128.
— hinter Filtern 128.
Chrysanilin 567.
— im Eisenoxalatentwickler 147.
Compoundprisma 218.
Cresylblau und Chromatgelatine 105.
Cut der Schwärzungskurve 61.

D.

Daguerreotypie 1. 2.
—, Bejodungsmesser 1.
—, Belichtungsmesser 1.
—, Meßapparat für die Empfindlichkeit 1. 2.
—, Solarisation 531.
— und Reziprozitätsregel 14.
Dauerphotometer Eder-Hecht, angezeigte Lichtmengen 437. 438.
Deckkraft photographischer Schichten 20.
— von Silberniederschlägen in Negativen oder Diapositiven 24 bis 26.
Densitometer 462.
— für sehr dichte Negative 475.
— „Filmograph“ 483.
Densogramm 37. 41.
— einer photomechanischen Platte 44.
Densograph von Goldberg 11. 462. 475 bis 488.
—, andere Formen 483 bis 488.
— bei der Prüfung von Papierkopien 479. 491.
— für größere Platten 482. 483.
Densometer 462 bis 508.
— mit Graukeil 465.
—, registrierendes für Kinematographie 483.
Desensibilisator im Metol-Hydrochinon-Entwickler 138.
Desensibilisatoren, Prüfung von Farbstoffen auf ihre Eignung als 564 bis 572.
— und Schwarzschilds Exponent 186.
—, Verminderung des Schwellenwertes durch 138. 151.
—, Wirkung der 150.
Desensibilisierung, Sensitometrie 568 bis 570.
Detail, visuelles 102.
Detailplatte 489.
Detailwiedergabe in Aufsichtsbildern 103. 104.
— photographischer Bilder 90. 94. 102. 103. 104.
Dezimalkerze 16.
Diapositiv im durchfallenden und im reflektierten Licht, Vergleich der Schwärzung 88 bis 90.
Diapositivplatten, Schwärzungskurven 53.
—, Schwellenwert 67.
Diazopapiere, Kopierumfang 96.
Diazotyppapiere als Normalpapiere 129. 130.
Dichte 21. 22. 110. 152. 462.
—, diffuse 467. 468.
— idealer Porträtnegative 63.
—, maximale 111.
—, normale 467. 468.
—, optische 24.
— unendlich 152. 159.
Dichtemesser von Ferguson 487. 488.
— — Shephard 484.
Dichtemessung 462.
— im diffusen und im gerichteten Licht 465 bis 469.
— — —, Tabelle 467.
Dichtenänderung 110.
Dichtigkeit 21.
Dicke der Emulsionsschicht bei Filmen und Platten 540 bis 544.
Diffraktionsgitter 225.
Diffusion des Lichtes, Einfluß auf die Kontraste nach demselben Negativ 470.
Diffusionslichthof 509. 510.

Dissoziationsdruck und Halogenabspaltung 185. 186.
Dizyanin, Spektrumphotographie 228.
—, Sensibilisierungskurve 236.
Doppelwannen für Flüssigkeitslichtfilter 339. 340.
Dosismesser für Röntgenstrahlen 579.
Doublefilme 530.
Dreifarben-Lichtfilter bei der sensitometrischen Plattenprüfung 8. 9. 263. 281 bis 283.
— -Meßverfahren 320.
Druckfähigkeit von Papieren, Prüfung mit dem Graukeil 436 bis 440.
Duplikate in der Filmindustrie, Körnigkeit 147.
Durchentwicklung einer Bromsilberemulsion 66 bis 72.
Durchlässigkeit 22. 110.

E.

Eichung der standardisierten Lichtquelle und der Sensitometer 380 bis 382.
Einfluß der Verdünnung des Entwicklers 144. 145.
— eines Bromidzusatzes zum Entwickler auf die Inertia und Entwicklungsgeschwindigkeit 143. 144.
Einheitslichtquelle s. Normallichtquellen.
Eisenoxalatentwickler für Sensitometrie 141. 142.
— gibt keinen Nachbareffekt 142. 150.
— mit Chrysanilin 147.
Elektrisches Bogenlicht als Standard 378 bis 380.
— — in der Spektrumphotographie 237.
— — mit Reinkohle, Filterung 347. 348.
— —, photographischer Vergleich mit Kerzenlicht 358. 359.
— — und Bichromatkollodium 105.
— — und Pigmentpapier 104.
Emissionskurve, spektrometrische 333.
Empfindlichkeit, Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes 211. 231 bis 242.
— -Anstieg der Schwärzungskurve 166.
—, Einfluß des latenten Schleiers auf 155. 160 bis 170.
— photographischer Platten im Sonnenspektrum, berechnet auf die gleichmäßige Energie in demselben 245. 246.
— photographischer Platten, übersichtliche Darstellung 419 bis 429.
Empfindlichkeit, relative, bezogen auf Blau 413.
— -Schwellenwert 167.
—, Steigerung durch Vorbelichtung 160 bis 170.
Empfindlichkeitsangabe bei Kopierpapieren 86.
— mit mittleren Schwärzungen 33 bis 35.
Empfindlichkeitsbestimmung durch die hellste Bildstelle eines Kopierpapieres 90.
Empfindlichkeitserhöhung durch Vorbelichtung 160 bis 170.
Empfindlichkeitskurven von Bromsilber 234. 235.
—, Zurückführung der spektralen auf ein ideales Spektrum 245.
Empfindlichkeitsverhältnis von Blau zu Gelb 270. 283.
Empfindlichkeitszahlen, Ermittlung mit dem Graukeil 408.
— nach Hurter und Driffield 42.
Emulsion, Mischung aus vielen Emulsionen 80.
Emulsionen, Analyse 544. 583.
—, anorthophotische 74. 81. 82.
—, Beurteilung der Prüfungsergebnisse 556 bis 560.
—, komplette Darstellung der Eigenschaften 554 bis 556.
—, orthophotische 74. 77. 78. 78. 81. 82.
—, Schwärzungskurven silberarmer 83.
—, Untersuchung 540 bis 564.
Energie-Nivellierer 246. 583.
Entfernungsgesetz 16.
Entwickler, Amidol- in der Sensitometrie 142.
—, Änderung der Schwärzungskurve durch Farbstoffe im 147. 148.
—, Einfluß auf den Schwellenwert 131 bis 133.
—, — auf die Korngröße 145 bis 147.
—, — der Art auf die Gradation und die Maximalschwärzung 134 bis 136.
—, — — Verdünnung eines 144. 145.
—, — eines Bromidzusatzes auf Inertia und Entwicklungsgeschwindigkeit 143. 144.
—, Eisenoxalat- in der Sensitometrie 141. 142.
—, Metol-Borax- für feinkörnige Kino-Negativ-Filme 138.

Entwickler, Metol-Hydrochinon- in der Sensitometrie 137 bis 139.
—, Normal- in der Sensitometrie 136 bis 142.
—, Paramidophenol- in der Sensitometrie 139. 140
—, Pyrogallol- in der Sensitometrie 140. 141.
—, Rührwerk zum Bewegen des 134. 136.
—, Schnelligkeit 131. 142. 143.
—, sensitometrische Prüfung der Wirkungsweise von verschiedenen 148.
—, Stand- 144.
—, stark verdünnte 144.
—, Temperaturkoeffizient verschiedener, Tabelle 172.
Entwicklerlösungen, Normaltemperatur 131
Entwicklung, extrem lange 64.
— nach dem Fixieren, physikalische 139.
—, Schleierbildung bei der 133. 155. 160 bis 170.
— unendlich 46.
Entwicklungsdauer von Papieren und die Gradation 101. 102.
—, Zusammenhang der Schwärzungsvorgänge mit der 152 bis 154.
Entwicklungsfaktor 40. 44. 152. 524.
Entwicklungsgeschwindigkeit 131. 142. 143.
—, Einfluß eines Bromidzusatzes zum Entwickler auf die 143. 144.
Entwicklungskonstante s. Entwicklungsfaktor.
Entwicklungspapiere, Spielraum der 102 103.
— s. a. Gaslicht-, Bromsilbergelatinepapier usw.
Entwicklungszeit, Optimum der 54.
—, Zusammenhang des Gamma mit der und der Exposition 46 bis 54.
Entwicklungs-Zeit-Kurven einer Bromsilbergelatineplatte 253.
Eosinplatten im Spektrum 535.
Erythrosin als Sensibilisator für Chromatgelatine 106.
— im Photometerpapier 127. 128.
— -Silber-Normalpapier 127. 128.
Erythrosinplatten, Farbensensibilisierung 235. 255.
—, Schwärzungskurven 262. 263.
—, Spektrum 535.
Exposition (J . t) 12. 17. 152.
Exposition, Formel der Funktion 14.
—, intermittierende, photographischer Platten 203 bis 310.
—, korrekte (normale) 33. 59. 152.
—, Logarithmus der 46.
—, Spielraum 59. 60. 93. 94.
Expositionsmesser mit Normalpapier 126.
Expositionszeit, Bestimmung der hinter Dreifarbenlichtfiltern und Dämpfungsfiltern für Dreifarbendruck 269.
Extension, seitliche, s. Nachbareffekt.

F.

Faktor der Kontraste 40.
Faktoren für die Leistungsfähigkeit des Kopiermaterials 96.
Farben, Verteilung im Sonnenspektrum 212.
— — in verschiedenen Lichtquellen hinter Dreifarbenfiltern 326. 327.
Farbenatlas 305.
Farbenempfindliche Platten, Prüfung mit Graukeil 409 bis 412. 415 bis 419.
— —, — — Lichtfiltern 212.
Farbenempfindlichkeit, Berücksichtigung in der Sensitometrie 390.
— der Erythrosinplatten 235.
—, effektive 281.
— einer panchromatischen Platte hinter den Graukeilfarbenfiltern, reduziert auf ihre ideale Transparenz 351.
—, Ermittlung mit Eder-Hecht-Graukeil 278. 279.
— panchromatischer Pinachromplatten 235.
—, Prüfung mittels Farbtafeln 10. 11. 212.
—, — — Spektrographen 212 bis 231.
—, Umrechnung der relativen in wahre 415 bis 419.
— und Gradation, Zusammenhang 259.
— verschiedener Gelatine-Trockenplatten 243. 244.
— — Halogensilberemulsionen 231 bis 233.
—, wahre, bei Magnesiumlicht, bezogen auf die Blauempfindlichkeit 420.
Farbenkoeffizient 117.
Farbensensibilisator, Beeinflussung der Blauempfindlichkeit. 426 bis 428.
— — — —, Tabelle 427.
Farbensensibilisierung, Messung im optisch-hellen Spektrum 270 bis 273.

Farbensensitometer 284.
— Eder-Hecht 398 bis 403. 567.
Farbentafeln zum Prüfen der Farbentonrichtigkeit 10. 11. 276. 304 bis 307.
— zur Sensitometrie 308 bis 320.
Farbenton der Farbe 275. 305.
Farbentreue 315. 317.
Farbenverteilung verschiedener Lichtquellen 324 bis 327.
— — — hinter Dreifarbenfiltern 326.
Farbenzonen im Sonnenspektrum, Wellenlängen 211. 212.
Farbfilter, Veränderlichkeit des Gamma bei Aufnahmen hinter 259 bis 264.
— s. a. Lichtfilter.
Farbskala im Graukeilsensitometer, doppelte 399.
Farbstoffe im Entwickler, Änderung der Schwärzungskurve durch 147. 148.
—, sensitometrische Prüfung auf Eignung als Sensibilisatoren und Desensibilisatoren 565 bis 570.
Farbstoffmischungen für panchromatische Platten 258.
Farbtemperatur der Lichtquellen 325 327 bis 331.
—, Fehlerweite bei der Bestimmung, zulässige 328.
— in absoluten Temperaturgraden 328.
— von Standard-Lichtquellen 328.
Fehlerweite s. Toleranz.
Filmnegative, Kopieren auf Diapositivemulsionen 48.
Filterfaktor von Gelbfiltern 268.
Filterfaktoren 263. 267 bis 269.
Filterung von Normallicht 339 bis 342.
Fixieren, Zurückgehen der Kopien beim 93.
—, physikalische Entwicklung nach dem 139.
Flächenhelle 18. 108. 110.
Flächenlichtstromdichte 18.
Flüssigkeitsfilter s. Lichtfilter.
Fluroit- Vakuum- Spektrograph 231.
Flußspat, Ultraviolettdurchlässigkeit 298.
Formalinhärtung der Sensitometerproben 133.
Formylviolettplatten 535.
Fraunhofersche Linien, Wellenlängen 211. 212.
Fuß der Schwärzungskurve bei hochempfindlichen Platten 56.
— — — — Kopierpapieren 84.
Fuß der Schwärzungskurve bei photomechanischen Platten 56.
— — — im Gebiet der Unterexposition 54 bis 57.

G.

Gamma 34. 40. 46. 69. 70. 152. 153.
—, Abstieg bei gleicher Exposition 48.
—, Bestimmung ohne Meßapparate 488 bis 490.
—, Sinken bei Bromsilbergelatine in Grün 252. 253.
— unendlich, Berechnung 54.
— —, Entwicklung von Bromsilbergelatine bis 54. 55. 134.
—, Veränderlichkeit bei Aufnahmen hinter Farbfiltern 259 bis 264.
—, Zusammenhang der Körnigkeit von Negativen von der Entwicklungsart und dem 145 bis 147.
—, — mit der Exposition und Entwicklungszeit 46 bis 54. 152.
Gaslicht in der Spektrumphotographie 242.
Gaslichtpapier, Prüfung auf Kupfersalze 540. 583.
—, Schwärzungskurven 98 bis 100.
—, weich oder hart arbeitendes 101.
Gelatinegraukeil 3 bis 7. 10. 383 bis 444.
Gelatine-Trockenfilter, Umrechnung auf ideale Transparenz 273 bis 276. 283.
— — zur Zerlegung des Spektrums in schmale Zonen 283.
Gelbfilter, Lösungen für 272. 273.
—, Messungsergebnis des Einflusses von 318. 319.
Gesamtfilter in Emulsionen, Bestimmung 545 bis 548.
Geschichte der Sensitometrie 1 bis 11.
Geschwindigkeitskonstante eines Entwicklers 154.
Gitterspektrographen 223 bis 229.
Glanz 18.
Glanzmesser für Papiere 494.
Glas, Ultraviolettdurchlässigkeit 297. 299.
Glasplatten, Transmission farbiger 269.
Glimmer, Ultraviolettdurchlässigkeit 298.
Glühlicht, Überführung des elektrischen in die Farbenverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes 339 bis 342.
Goldbergkonstante 103.
Gradation 35. 40.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Gradation, Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes 211. 246 bis 256.
—, Abstieg bei gleicher Exposition 48.
—, abweichender Verlauf bei Veränderung der Lichtintensität und extrem langer Entwicklung 64 bis 66.
—, Bestimmung 135.
—, Einfluß der Entwicklerart auf die 134 bis 136.
—, — des Entwicklungsvorganges auf die 133. 134.
— — des latenten Schleiers auf 155. 160 bis 170.
—, leere 29. 56. 90. 160. 166.
—, normale 40.
— panchromatischer Bromsilbergelatineplatten 187.
—, steilere dicker Schichten 48.
—, Umfang bei Kopierpapieren 91. 93.
— und Farbenempfindlichkeit, Zusammenhang 259.
— von photographischen Kopierpapieren 90. 91.
—, Zusammenhang mit der Entwicklungsdauer von Papieren 100. 101.
Gradationsumfang von Albuminpapieren 91.
— von Chlorsilberpapieren vor und nach dem Fixieren 92.
Gradient 40.
Graphische Darstellung des Zusammenhanges des Gamma mit der Exposition und der Entwicklungszeit 46 bis 54.
— Methode zur Bestimmung des Kontrastgradienten 122.
Graukeil, Densometer mit 465.
—, dünner 436.
—, Entwicklung der Sensitometerproben 404.
—, gekreuzte, zur Bestimmung der Schwärzungskurve und des Gamma 488 bis 490.
— mit verlängerter Skala 436.
—, Verwendbarkeit 429 bis 431.
—, Verwendung zur Prüfung der Druckfähigkeit von Papieren bis 440.
— — zur Lichthofprüfung 517 bis 519.
— -Dauer-Photometer für wissenschaftliche Zwecke 432 bis 435.
— — —, angezeigte Lichtmenge 434.
— -Kopierphotometer 431 bis 433.
Graukeilsensitometer 10. 383 bis 440.
Graukeilsensitometer, Geschichte, 394 bis 397
— mit doppelter Farbskala 399.
— mit einfacher Farbskala 399. 401.
— mit Lichtfiltern 281 bis 283. 384. 396. 398.
— ohne Farbstreifen 403.
—, optische Eigenschaften der Lichtfilter im 398.
—, verschiedene Formen 398 bis 444.

H.

Halation 509.
Halbtonbild, Detailwiedergabe 57.
Halbwattlampe beim Kopieren auf Chromatgelatine 104.
Halogene in Emulsionen, Bestimmung 548.
Hefnerkerze 6. 9. 18. 19. 265. 321. 348. 349. 360 bis 364.
Helligkeit 107.
—, chemische 17. 353.
— der Farbe 275.
—, photographische (photochemische) 17. 353. 391.
—, visuelle 17. 322. 353. 391.
—, —, Eignung orthochromatischer Platten zur Messung der 254.
Helligkeitsempfindung des Auges 17.
Helligkeitskontrast 107.
Helligkeitsverschiedenheiten 107.
Helligkeitswiedergabe, Theorie 116.
Herschel-Effekt 165. 536. bis 539.
—, Vor- und Nachbelichtung und 165.
— und Solarisation, Unterschied 580.
Himmelslicht, spektrale Energieverteilung des diffusen 335 bis 338.
— und Filterfaktor 338.
Hydrazinderivate im Bromsilber-Normalpapier 126.
Hydrochinon im Bromsilber-Normalpapier 126.

I.

Ilford-Farbtafel 308.
Illumination (Beleuchtung) 18.
Inertia 8. 40 bis 42. 152.
—, Abweichen des Schwellenwertes von der 55 bis 57.
— von Kopierpapieren 94.
Infrarotes Licht und Solarisation 536.
Inrarot-Sensibilisator 227.
Insolation 12.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Integral-Photometer 466.
Intensität, aktinische 17.
—, optimale 190. 196. 200.
Intensitätsfaktor 13. 174. 531. 536. 580.
—, Einfluß auf die Solarisation des Bromsilbers 184. 185.
— — bei der Belichtung des Jodsilbers 185. 186.
Intensitätsskala 64.
Intermittenzeffekt 208. 209.
— mit monochromatischem Licht 209.
Intermittierende Belichtung photographischer Platten, Gesetze 203 bis 210.
Irradiation 509. 510.
—, Sensitometrie 509 bis 520.

J.

Jod, Bestimmung in Emulsionen 544. 584 bis 586.
Jodbromsilber im Sonnenspektrum 232.
Jodsilber, Einfluß des Intensitätsfaktors bei der Belichtung von 185. 186.
—, farbenempfindliches 582.
— im nassen Kollodiumverfahren 528.
— in der Chlorsilbergelatine 101.
— in Trockenplatten 232. 234.
—, — —, Sensibilisierungskurve 234.
Jodsilberkollodium, besonderes Verhalten 250.
— im Sonnenspektrum 232.

K.

Kaliumbichromatlösung als gelbes Lichtfilter 272. 273.
Kaliummonochromatlösung als gelbes Lichtfilter 272. 273.
Kalkspat, Ultraviolettdurchlässigkeit 298.
Keilkonstante, Erklärung 387. 388.
Keilprismen für Sensitometer 383.
— — — s. a. Graukeil.
Keilspalt im Spektrographen 230.
Kerze, internationale s. Normallichtquellen.
Kerzenlicht, photographischer Vergleich mit Bogen- oder Magnesiumlicht 358. 359.
Kinematographie, Sensitometer zur Bestimmung der Kopierzeit in der 457. 458. 488.
Kino-Diapositivfilm, Körnigkeit 146.
Kinofilme, Schwärzungsmesser für 483 bis 488.
Kinofilmnegative, feinkörnige 138.
Kinofilmnegative, Entwickler für feinkörnige 138.
Klimatologische Untersuchungen mit Graukeilphotometer 432 bis 435.
Kobalt- und Kupferoxydglas für Tageslichtfilter 289.
Kodak-Kino-Standardnegativ-Film, Empfindlichkeit 56.
— -Super Speed - Kinofilm, Empfindlichkeit 56.
Kohlenbogenlicht s. elektrisches Bogenlicht.
Kollodiumplatte, Belichtung 13.
Kongorot als Sensibilisator 256.
Konkavgitter im Spektrographen 225. 226.
Konstante, photometrische 24.
Kontrast als Funktion der Dichte 123.
—, Bestimmung auf Grund sensitometrischer und statistischer Daten 121.
—, Definition 107 bis 112.
—, mathematische Darstellung 123.
—, objektiver 107.
—, subjektiver 108.
Kontrast-Bereich 109. 122.
— -Gradient 109. 122.
— -Wert 122.
Kontraste eines Kopierpapieres, Definition aus der charakteristischen Kurve 92.
Kopierdichte 26. 469. 470.
Kopieren, Standardexposition beim 84.
Kopiermaterial, Faktoren für die Leistungsfähigkeit 96.
Kopierphotometer mit Graukeil 431 bis 433.
— — —, Tabelle der angezeigten Lichtmenge 432.
Kopierpapiere, Bildkontrast photographischer 106 bis 123.
—, Kopierumfang, Messung 91.
—, Schwärzung photographischer 84 bis 123.
—, totale Skala 94. 95.
Kopierumfang von Kopierpapieren 91 bis 97. 104 bis 106.
— — Lichtpauspapieren 96.
— — Pigmentpapier 104.
— — Positivkinofilmen 95.
Korngröße des Silberniederschlages 20. 145 bis 147.
—, Einfluß des Entwicklers auf die 145 bis 147.

Kornzahl des Silberniederschlages 20.
Körnigkeit von Negativen, Zusammenhang mit Entwicklungsart und Gamma 145 bis 147.
Kryptozyanin, Spektrumphotographie 227. 228.
Kupferoxyd- und Kobaltglas für Tageslichtfilter 289.
Kupfersulfatlösung als blaues Lichtfilter 271 bis 273.
—, ammoniakalische als blaues Lichtfilter 272. 273.
Kurven konstanter Schwärzung 190. 191. 195.

L.

Landschaftsplatten, Normalentwickler 137.
Latitude der Exposition von Kopierpapieren 94.
— — korrekten Belichtungszeit 40. 59. 60.
Leistungsfähigkeit des Kopiermaterials, Faktoren 96.
Leuchtdichte 18. 19.
Leuchten 18.
Leuchtkraft 18.
Licht, diffuses und gerichtetes bei der Dichtigkeitsmessung 465 bis 469.
—, reflektiertes und Schwärzungserscheinungen photographischer Papierbilder 84 bis 86.
—, synthetisches weißes 285.
Lichteffekt auf Chromatgelatine (Pigmentpapier), Messung 104 bis 106.
Lichtfilter an Sensitometern, Beschaffenheit 247 bis 276.
—, Bergkristallplatten als 266.
—, Bestimmung der verschiedenartigen Transparenz von flüssigen und trockenen 276 bis 279.
—, — des Sensibilisierungsfaktors mit 278.
—, Dämpfungs- 266. 269.
—, Dreifarben- 269.
—, Einfluß der Lichtintensität auf die Breite des Transmissionsspektrums der 280. 281.
—, Farbensensitometrie mit 8. 9. 263. 281 bis 283.
—, Flüssigkeits- 265. 266. 270 bis 273. 279.
—, —, blaue 270 bis 273.
Lichtfilter an Sensitometern, gelbe 270 bis 273.
—, —, Glaswanne für 270.
—, —, grüne 279. 280.
—, —, violette 279. 280.
— für Aerophotographie 284.
— für Azetylenlicht zur Überführung in die Energieverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes 342.
— für mittleres Mittagssonnenlicht 339 bis 342.
—, Gelatine- 265. 273 bis 276. 283.
—, Glas- 265. 270.
— im Graukeilsensitometer, spektrale Durchlässigkeit 282.
— in der Sensitometrie, farbige 8. 9. 263. 281 bis 283.
—, Kollodium- 265.
—, Kontrast- 266.
— mit spektraler gleichmäßiger Lichtdämpfung 266.
—, Opalglas als 266.
—, Reduktion auf ideales Transmissionsvermögen 280 bis 284.
—, Selektions- 266.
—, Spektrographie 212 bis 231.
—, Tageslicht- 285 bis 296. 371.
—, Transmission farbiger Glasplatten 269. 270.
—, Trocken- 266. 273 bis 276.
—, Verwendung 265 bis 300.
— zur Überführung von Normal-Licht in die Energieverteilung von mittlerem Mittags-Sonnenlicht 285.
— zur Umwandlung von Lichtquellen mit Farbtemperatur 2600 und 3000° absol. in die Energieverteilung des Sonnenlichtes 342 bis 345.
Lichthof 509.
—, Diffusions- 509. 510.
—, Entstehung 511.
—, Formulierung 512.
—, Prüfung auf 514.
—, Reflexions- 509. 511. 514 bis 516.
—, Schwellenwertsbestimmung 515. 516.
—, Sensitometrie 509 bis 520.
Lichthoffreiheit, Prüfung auf 517 bis 520.
—, Kennzahl 517.
Lichthofschutz 521.
Lichtintensität 18. 324.
— der Lichtquellen 16. 17.
—, optimale 15.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Lichtintensität, variable und Schwärzungskurven 71.
—, Zusammenhang mit der völligen Durchentwicklung aller Bromsilberkörner 68. 69.
Lichtmenge 19.
—, Funktion der wirkenden 12, 14.
Lichtmessungen unter Wasser 435.
Lichtpauspapiere, Gradationsumfang 96.
— in der Photometrie 128 bis 130.
Lichtquanten 17. 18.
Lichtquellen, Farbenverteilung in verschiedenen 324 bis 327.
—, — — — hinter Dreifarbenfiltern 326. 327.
—, Farbtemperatur verschiedener 327 bis 331.
—, photographische Aktinität 16. 17.
—, relative Aktinität 17. 325. 353 bis 359.
—, spektrale Zusammensetzung in den drei Grundfarben, bezogen auf Rot 327.
Lichtschleier 155.
Lichtstärke 18. 19.
Lichtstrom 17 bis 19.
Lichttransmission, effektive 281.
Lithopone, Ultraviolettabsorption 304.
— und das Reziprozitätsgesetz 13.
Logarithmus der Belichtungszeit 44. 94.
— der Opazität 21. 38. 44.
— der Undurchlässigkeit gegen Licht 21. 38.
— der wirkenden Lichtmenge 38. 44.
— des reziproken Wertes der Durchlässigkeit 110.
— — — — — des Reflexionsvermögens 110.
— des Verhältnisses zweier Helligkeiten 102. 108.
Lumen 18. 19.
Lumenstunde 19.
Luminabrille 294.
Lux 17. 19. 323.

M.

Magnesiumkarbonat, Reflexionsvermögen 302.
Magnesiumlicht als Normallichtquelle 43. 265. 286. 276. 351. 360. 371 bis 378.
— als sekundärer Standard 374.
—, Beziehungen zum Tages- und elektrischen Bogenlicht 377. 378.
—, Farbtemperatur 328. 329. 350.
Magnesiumlicht, Lichtfilter zur Überführung des in die Farbenverteilung des mittleren Mittagssonnenlichtes 346. 347.
—, photographischer Vergleich mit Kerzenlicht 358.
—, praktische Verwendung als Lichtstandard 375 bis 377.
—, spektrale Zusammensetzung 375.
Magnesiumoxyd, Reflexionsvermögen 302.
Maximaldichte von Bromsilbergelatineplatten 22.
Maximalschwärzung von Kopierpapieren 87. 88. 90 bis 92. 94 bis 97.
— von photographischen Platten 134.
Mees-Azetylen-Brenner 367.
Meßmethode, sensitometrische, von photographischem Material 112 bis 114.
Messung der Lichtdurchlässigkeit des Silberniederschlages s. Schwärzungsmessung.
Meteorologische Untersuchungen mit Graukeilphotometer 432.
Meterkerze 323.
Meterkerzen-Sekunde 323.
Methylviolettfilter 280.
Metochinonentwickler in der Sensitometrie 138.
Metol-Borax-Entwickler für feinkörnige Kino-Negativ-Filme 138.
Metol-Hydrochinonentwickler in der Sensitometrie 137 bis 139.
Mikrophotometer von Hartmann 11. 471 bis 475.
—, andere 475. 495 bis 508.
—, photoelektrisches 495 bis 497.
—, selbstregistrierende 497 bis 508. 510.
—, thermoelektrisches 475.
Minimum-Gradient 29.
—, nützlicher 30.
Minimaldetail, photographisches 102.
Mittagssonnenlicht, mittleres als Standardlicht 333. 338. 342. 360.
—, —, Filterfaktoren für 267.
—, —, relative Energieverteilung 334.
Mittagssonnenlicht, spektrale Energieverteilung 16. 33.

N.

Nachbar-Effekt 142. 149. 150.
—, Einfluß auf die Bestimmung der Schwärzungskurve 150.

Nachbar-Effekt, Mangel beim Eisenoxalatentwickler 142.
Nachbelichtung, Einfluß auf Empfindlichkeit und Gradation 160. 161. 164. 165.
Natriumnitrit im Normalpapier 125. 126.
Nebenbelichtung, Einfluß auf Empfindlichkeit und Gradation 160. 161.
Negative, Bestimmung der besten 119.
Neozyanin, Spektrumphotographie 227. 228.
Nernstlampen in der Spektrumphotographie 242.
Nomenklatur in der Photometrie und Sensitometrie 17 bis 19.
Normalbelichtung 32. 36. 39. 62.
—, Schwärzungskurve bei 60 bis 63.
Normalentwickler in der Sensitometrie 136 bis 142.
Normallichtquellen, Aktinität der 16. 381.
—, Allgemeines 321 bis 324.
—, Amylazetatlampe 6. 9. 16. 321. 322. 360. bis 364.
—, —, Energieverteilung im Spektrum der 363.
—, —, Flackern, Vermeidung 363.
—, —, Nachteile 364.
—, — s. a. Hefnerkerze.
—, — mit Graukeilsensitometer 361.
—. Azetylenlicht 342. 348. 360. 366 bis 369.
—, —, Energieverteilnng 367.
—, —, Mees-Brenner 367.
—, Benzinkerze 16. 265. 360. 365. 366.
—, Bogenlicht 265. 360. 378 bis 380.
—, Dezimalkerze 16.
—, Eichung der standardisierten 380 bis 382.
—, elektrische Glühlampe 16. 360. 369 bis 371.
—, Farbenverteilung der verschiedenen 324 bis 327.
—, Filterung 339 bis 349.
—, frei einstrahlende 265.
—, grundlegende Eigenschaften 321 bis 324.
—, Hefnerkerze 6. 9. 18. 19. 265. 321. 348. 349. 360 bis 364.
—, in der Sensitometrie gebräuchliche vier Klassen 360 bis 382.
— in Kombination mit Lichtfiltern 265.
Normallichtquellen, Intensität 324
—, internationale Kerze 16. 321. 339.
—, Kohlenfadenlampen 16. 321.
—, Leuchtplatte 5.
—, Magnesiumband 43. 265. 268. 360.
—, Metallfadenlampen 265.
—, Pentanlampe verglichen mit Azetylen 349.
—, primäre 321.
—, Sonnenlicht 360.
—, spektrale Energieverteilung 324.
—, Teilung der Strahlen durch blaue und gelbe Filter 270 bis 273.
—, Walratkerze 8. 348. 360. 364.
—, Wolfram-Vakuumlampe 321. 370. 371.
Normalpapier nach Bunsen und Roscoë 124. 125.
— — Eder 125.
—, Bromsilbergelatine für 126 bis 128.
—, Chromatgelatine für 128.
—, Diazotypapier für 129. 130.
— hinter Farbfiltern 125 bis 130.
—, Primulinpapier für 129.
Normalpapiere für Photometrie 124 bis 130.
Normalton, Anlauffarbe von Photometerpapier als 126.
— des Negativs 24.

O.

Oberfläche der Kopierpapiere 86.
Ölfarben, Reflexionsvermögen 307.
Opalglas, Schwärzungskurve eines Positivs auf 98.
Opazität 21. 22.
—, Logarithmus der 44.
—, Zusammenhang mit der Schwärzung 23.
Optische Helligkeit s. Helligkeit, visuelle.
Orthochrom, Sensibilisierungskurve 236.
—, Spektrumphotographie 227.
— -Platten im Spektrum 534.
Orthochromatische Platten 243.
—, Prüfung im Graukeilsensitometer 283.
Orthochromatischer Film bei Magnesium 416.
Orthophotische Emulsionen 74. 77. 78. 79. 81. 82.
Ozalidpapier, Kopierumfang 96.
—, Photometrie mit 129.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

P.

p siehe Schwarzschilds Exponent.
Panchromatische Platten 243.
— bei Magnesiumlicht 417.
— —, Prüfung im Graukeilsensitometer 283.
—, Untersuchung 257 bis 259.
Papier, Reflexionsvermögen von weißem 303.
Papierbilder, Schwärzungskurven photographischer 97 bis 101.
Papierglanz, Meßapparate für 490 bis 495.
Papierkopien, Schwärzungsmesser für 475. 490 bis 495.
Papierschwärzungsmesser 20. 90 bis 123. 479. 490 bis 495.
Papierskalenphotometer 2. 3. 91. 389.
—, für Kopierzwecke 3.
Paramidophenolentwickler in der Sensitometrie 139. 140.
—, Entwicklungsgeschwindigkeit 140.
Phenosafranin 567.
— und Schwellenwert 151.
Phenylaminoessigsaures Natrium im Normalpapier 126.
Phenylglyzinsalze im Normalpapier 126.
Phenylhydrazin im Normalpapier 126.
Phot 17. 323.
Photal 17.
Photibilität 18.
Photobility 307.
Photible 17.
Photic 17.
— -Intensität 18.
— -Kraft 18.
— -Strom 18.
Photic flux = Lichtstrom s. d.
Photocity 18. 307.
Photivation 18.
Photiveness 18.
Photochemischer Effekt auf Bromsilbergelatine, Zonen 182. 183.
Photodensitometer, registrierendes 508.
Photographometer 1. 2.
Photomechanische Platte, Densogramm 44. 45. 52.
— —, Entwickler für 134.
— —, Variation des Gamma gegen Ultraviolett 253.
— —, Zone der korrekten Exposition 63.
Photometerpapiere für direkte Schwärzung 126.
Photometerpapiere, Lichtempfindlichkeit verschiedener bei Tageslicht 127.
— mit Pinaflavol, hochempfindliche 127.
—, s. a. Normalpapiere.
Photometrie der Gestirne und Vorbelichtung 163.
—, Grundsatz der photographischen 16.
—, heterochrome 272. 460.
—, Nomenklatur für visuelle 17. 18.
Photometrische Größen, Bezeichnungen und Einheiten 18. 19.
Photon 17.
Photone 17.
Physikalische Entwicklung nach dem Fixieren 139.
Pigmentfarben für Farbentafeln 304 bis 307.
—, photographischer Effekt 307.
Pigmentpapier, Messung des Lichteffekts auf 104 bis 106.
Pinachrom, Spektrumphotographie 227. 236.
— -Blau, Sensibilisierungskurve 236.
— -Violett, Sensibilisierungskurve 236.
Pinaflavol als Sensibilisator 256.
— im Photometerpapier 127. 130.
— — —, Grünempfindlichkeit 130.
Pinakryptolgrün im Metol-Hydrochinonentwickler 138.
— und Schwellenwert 151.
Pinaverdol, Sensibilisierungskurve 236.
Pinazyanol, Spektrumphotographie 227.
— -Blau, Sensibilisierungskurve 236.
Pinsel beim Entwickeln 134. 135.
Plangitter im Spektrographen 225.
Plate Tester (Plattenprüfer) 7.
Platinpapier, Reflexionskraft 87.
Plattensorten, Farbenempfindlichkeit verschiedener 422. 423.
Polarisationsphotometer von Martens 11. 463 bis 465.
Porträtplatte, Densogramm 45. 51.
—, Normalentwickler 137.
Positiv-Kinofilme, Kopierumfang 95.
— —, Schleierbildung 157.
Primulinpapier, Kopierumfang 96.
—, Photometrie mit 129
Process Plates 134.
Projektionsdichte 26. 469. 470.
Prüfung farbenempfindlicher Platten mit dem Graukeilsensitometer 278. 409 bis 412. 422. 423.

Prüfung farbenempfindlicher Platten bei verschiedenen Lichtquellen 424 bis 426.
Prüfung von Silberhaloidemulsionen 540 bis 564.
— — —, Analyse 544 bis 549.
— — — auf Dicke und Gleichmäßigkeit der Schichte 549. 550.
— — — — — Gleichmäßigkeit und Reinheit 553. 554.
— — — — — Haltbarkeit 554.
— — — — — kleine Jodmengen 553.
— — — — — Korngröße 553.
— — — — — Photo-Silber und Ur-Silber 550 bis 553.
— — — — — Struktur und Zusammensetzung 540 bis 544.
Pyrogallolentwickler in der Sensitometrie 140. 141.

Q.

Quantenausbeute bei der Wirkung von Röntgenstrahlen auf Silberbromid 580.
Quarzglas, Ultraviolettdurchlässigkeit 299.
Quarzsand, Reflexionsvermögen 303.
Quarzspektrographen 221 bis 223.
Quecksilber-Entwicklung, physikalische 139.
— -Quarzlampe, Absorption von Gläsern im Ultraviolett der 299.
— — in der Spektrumphotographie 237.

R.

Radiant flux 17.
Radiansstrom 17.
Rauchglas in der Photometrie 383.
Raumwinkel-Lichtstromdichte 18.
Reflexionsdichte 20.
Reflexionskraft von Entwicklungspapieren 87.
— — Platinpapier 87.
— — Auskopierpapieren 87.
Reflexionslichthof 509. 511. 514 bis 516.
—, Entstehung 511.
—, Formulierung 512.
—, Prüfung auf 514.
—, Schwellenwertsbestimmung 515. 516.
Reflexionsphotometer 88.
Reflexions-Spektroskopie 304. 305.
Reflexionsvermögen 110.
— von Pigmentfarben 304 bis 307.
— weißer Flächen 302 bis 304.
Registrierphotometer 497 bis 508.
Regression, Hemmung des photochemischen Effekts durch 183.
Regressionserscheinung (variabler Schwarzschild-Effekt) 184.
Relative Aktinität s. d.
Remissionsfunktion von Pigmenten 275.
Replicas s. Abklatschgitter.
Reproduktionsplatten s. Photomechanische Platten.
Resorzin im Bromsilbernormalpapier 126.
Reziprozitätsgesetz 13. 69. 174.
—, Abweichungen vom 174 bis 184.
— von Bunsen und Roscoë 13.
Reziprozitätsregel 13.
Rhodamin im Photometerpapier 127.
Röhrenphotometer 384. 391, 440 bis 444.
— zur Lichthofprüfung 520.
Röntgeneinheit, internationale 579.
Röntgenstrahlen, Schwärzungsvorgänge bei der Photographie mit 573 bis 580.
Rubrozyanin, Sensibilisierungsband 242.
Rührwerk zum Bewegen des Entwicklers 134. 136.

S.

Sand, Reflexionsvermögen von weißem 303.
Sättigung der Farbe 275. 305.
Sättigungskontrast 107.
Schärfekurve 520.
Scheinergrade, Reduktion auf Eder-Hecht-Grade 451. 452.
—, Tabelle der relativen Lichtmengen 450.
Scheiner-Sensitometer 444 bis 452.
Schleier, beginnender beim Entwickeln 133. 164.
—, chemischer 155.
—, Korrektion bei Schwärzungsmessungen 158 bis 160.
—, latenter, Einfluß auf Empfindlichkeit und Gradation 155. 160 bis 170.
—, Messung auf photographischen Platten 155 bis 157.
Schleierbildung als Funktion des Entwicklers 156.
Schleierdichte, Messung 158 bis 160.
Schleierkurven von Entwicklern 156. 157.
Schnee, Reflexionsvermögen 303.
Schumann-Strahlen 231.
Schwarzgehalt der Farbe 275. 305.
Schwarzschild-Effekt 15. 182.
—, Aufhebung durch Bromakzeptoren 15. 184. 533.
—, entgegengesetzter 183.
—, Fehlen bei der Solarisation 533.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schwarzschild-Effekt, umgekehrter 15. 182.
Schwarzschilds Exponent p 178.
—, Abhängigkeit von der Wellenlänge186 bis 188.
—, Bestimmung 178 bis 180.
— und Desensibilisatoren 186.
—, Veränderlichkeit mit der Lichtintensität 181 bis 186.
Schwarzschilds Formel $J.t^p$ 177 bis 188.
— — $J^q.t$ 188 bis 190.
Schwärzung (S) 12. 21. 27.
—, latente 200.
—, maximale 66.
—, Nomenklatur der gebräuchlichen Größen 21 bis 24.
— photographischer Kopierpapiere 84 bis 123.
— — Silberschichten 20 bis 26. 84 bis 123.
—, Vergleich eines Diapositivs im durchfallenden und im reflektierten Licht 88 bis 90.
—, Verlauf im Anschluß an den Schwellenwert 32. 33.
— verschiedener Trockenplatten 176.
— von Negativen in der angewandten Photographie 22.
—, Zusammenhang mit der Opazität 23.
Schwärzungen, Empfindlichkeitsangabe mit mittleren 33 bis 35.
Schwärzungsabstufungen bei Silberbildern 87. 88.
Schwärzungserscheinungen photographischer Papierbilder im reflektierten Lichte 84 bis 86.
Schwärzungsflächen photographischer Schichten in geometrischer Darstellung 202.
Schwärzungsgesetz 12 bis 15. 33.
— für das Licht elektrischer Funkenentladungen 210.
— im Gebiet der Normal- und der Unterexposition 60 bis 62.
— von Kellner 15. 200. 201.
— von Kron 15. 190 bis 200.
—, Bedeutung für die Messung der Strahlungsintensität mit photographischen Methoden 176.
— von Kron-Halm 199. 200.
— von Schwarzschild 14. 15. 174 bis 190.
—, Transformation des 195 bis 200.
Schwärzungsgrade bei Kopierpapieren 86 bis 88. 94.
Schwärzungskurve, abweichender Verlauf bei Veränderung der Lichtintensität und extrem langer Entwicklung 64 bis 66.
—, Bedeutung der Hauptzonen für die angewandte Photographie 57 bis 60.
— bei verschiedenen Entwicklungszeiten und konstanter Exposition 69.
— der Papierbilder 85 bis 87. 91. 94. 97 bis 101.
— in der Periode der Unterexposition 61. 62.
—, Neigung der -bei der Unterexposition 62.
—, totale 60.
Schwärzungskurven 8. 37 bis 46.
—, Änderung durch Farbstoffe im Entwickler 147. 148.
—, Dreiteilung 55.
—, Fuß der — im Gebiete der Unterexposition 55 bis 57.
—, Herstellung 42 bis 46.
— moderner Plattensorten 50.
— silberarmer Emulsionen 83.
— und Anomalien bei der Entwicklung photographischer Emulsionen 72 bis 82.
—, Verlauf bei verschieden langer Entwicklung 54.
— verschieden lange entwickelter Negative 116.
— von Chromatgelatine 104 bis 106.
Schwärzungsmessung, Apparate 11. 462 bis 508.
—, Schleierkorrektion bei der 158 bis 160.
— von Farbtafelaufnahmen 310.
— von Kinofilmen 483. 484.
— von Negativen und Diapositiven 20.
— von Papierbildern 20. 90 bis 123. 479. 490 bis 495.
Schwärzungsskala eines Entwicklungspapiers 92.
Schwärzungsskalen, Bestimmung des Skalenwertes 388.
—, kontinuierliche 387. 388.
—, stufenförmige 387.
Schwärzungsvorgänge bei der Photographie mit Röntgenstrahlen 571 bis 580.
— im Gebiete der Normalexposition 60 bis 63.
— im Gebiete der Unterexposition 60 bis 62.
—, mathematische Darstellung im Zusammenhang mit der Entwicklungsdauer 152 bis 154.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Schwellenwert, Ablesung des 27. 30. 31. 135.
—, Abweichung von der Inertia 55 bis 57.
—, als Empfindlichkeitsfaktor 32.
—, Änderung unter dem Einflusse verschiedener Entwickler 131.
—, Bestimmung 31.
—, — ohne Meßapparate 488 bis 490.
— der Gradation 28.
— der Kontraste 28. 30.
— der Reflexionslichthöfe 515 bis 517.
— des Reizes 27.
—, effektiver 29. 30. 32. 33. 189.
—, — von Kopierpapieren 90.
— einer photographischen Schichte 12. 27 bis 33. 135.
— eines Positivs auf Opalglas 89.
—, Einfluß des Entwicklers auf den 131 bis 134.
— -Empfindlichkeit 166.
— im Eder-Hecht-Graukeilsensitometer 405 bis 408.
— photographischer Kopierpapiere 90. 94.
—, praktischer 29.
—, qualifizierter 28.
—, Verminderung durch den Desensibilisator 138.
—, wahrer 28. 32. 33.
—, — von Kopierpapieren 90.
Sensibilisatoren, sensitometrische Prüfung von Farbstoffen auf Eigenschaft als 565 bis 572.
—, spektrometrische Prüfung mit Bromsilber-Kollodium und Chlorsilbergelatine 243.
Sensibilisierungsbänder 227. 228. 230. 235.
Sensibilisierungsfaktor 278. 409.
Sensibilisierungskurven verschiedener Farbstoffe, Tabelle 238 bis 241.
Sensitometer, erstes 1.
—, Eichung der standardisierten 380 bis 382.
—, Graukeil mit Lichtfiltern 281 bis 283.
—, — — — zur Prüfung orthochromatischer und panchromatischer Platten 281 bis 283. 383.
— mit Intensitätsskala 383. 384. 391. 393 bis 444.
— — intermittierender Belichtung 383. 385. 386
— — rotierenden Scheiben 7 bis 10. 385.
— — Zeitskala 383 bis 387. 444 bis 457.
Sensitometer, nicht intermittierende 205, 206.
—, Skalen- s. d.
—, Skalenwert 388 bis 390. 408.
— von Eder-Hecht 10. 384 bis 444.
— — Goldberg 10. 384. 394 bis 396.
— — Chapman Jones 6. 7. 383.
— — Scheiner 8 bis 10. 385. 444 bis 452.
— — Stolze 10. 383 bis 396.
— — Vogel 3. 91. 389.
— — —, Bestimmung der Gradzahl bei Kopierpapieren 91.
— — Warnerke 4 bis 7. 383. 394.
— — Woodbury 3. 4. 384.
— zur Bestimmung der Kopierzeit in der Kinematographie 457. 458.
Sensitometeranzeigen, Vergleichung bei Hefner-, Magnesium- und Tageslicht 412 bis 419.
Sensitometergrade, Ablesung der 405.
— -Proben, automatische Entwicklung 136.
Sensitometrie, Berücksichtigung der Farbenempfindlichkeit in der 390.
— der Bildschärfe 520 bis 530.
— — Desensibilisierung 568 bis 570.
— — Irradiation 509 bis 520.
— — Lichthofbildung 509 bis 520.
— des Auflösungsvermögens 520 bis 530.
—, Funktion des Entwicklers in der 131 bis 151.
—, heterochrome 242. 460.
—, High intensity 454. 455.
— im Spektrum 458 bis 461.
—, Lichtquellen für s. Normallichtquellen.
— mit elektrischen Glühlampen und Tageslichtfiltern 428. 429.
— — Farbtafeln 308 bis 320.
— — Zeitskala und intermittierender Belichtung 384. 385. 444 bis 452.
— — —, nicht intermittierend 205. 206. 452 bis 457.
—, Nomenklatur für photographische 17.
—, reflektierende weiße Flächen in der 302 bis 304.
— photographischer Papiere 84 bis 130. 429.
— — Platten 1 bis 11. 383 bis 461.
— — —, Geschichte 1 bis 11.
—, Toleranz in der 563.
— und Solarisationserscheinungen 531 bis 539.
— von Bromsilberkollodium 425. 426.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Sensitometrie von Chromatgelatine 105.
— — Daguerreotypplatten 1. 2.
— — Tonfilmen 571. 572.
Sensitometrische Prüfung photographischer Platten für Amateure und kleine Betriebe 560 bis 563.
— Regeln, astronomische Anwendung 188.
Sensitophotometer Lobel 483.
Sichtbarkeit 18.
Silber, molekulares 20.
Silberbilder auf Papier im reflektierten Licht 84. 88.
Silberhaloidemulsionen, Analyse 544 bis 554.
—, Darstellung des Prüfungsvorganges 540 bis 554.
—, Untersuchung der 540.
Silbermenge pro 100 qcm 24 bis 26.
—, Tabelle 25.
Silberniederschlag photographischer Platten 20. 24 bis 26.
—, Dichte 110.
—, Wirkung verschiedener Entwickler 26.
Skala eines Kopierpapieres, totale 94.
Skalenkonstante s. Keilkonstante.
Skalenphotometer, ältere 383.
— für Ultraviolett 384.
— mit Glaskeil 383.
— — transparentem Papier 2. 3. 91. 389. 391.
— — Tuschegelatine 3 bis 7. 10. 34. 383 bis 444.
— mittels Woodburydruck 4. 384.
Skalenwert der Sensitometer 388 bis 390. 408.
Skalenwerte des Eder-Hecht-Sensitometers, des Scheiner-Sensitometers, der wirkenden Meter-Kerzen-Sekunden und der Hurter-Driffieldschen Empfindlichkeitszahlen 408. 409.
Solarisation 36. 184. 531 bis 539.
— des Bromsilbers, Einfluß des Intensitätsfaktors auf 184. 185.
— in der Daguerreotypie 531.
— jodierter Bromsilbergelatine 235.
—, Schwärzungskurve 39.
— und Herscheleffekt 581.
— — infrarotes Licht 536.
— — zweite Umkehrung 536.
—, Vor- und Nachbelichtung und 165.
Solarisationserscheinungen und Sensitometrie 531 bis 539.
Solarkonstante 331.
—, exterrestrische und terrestrische 331.
Sonnenlicht 325.
Sonnenspektrum, Energieverteilung im 331. 332.
—, — — außerhalb der Atmosphäre 332.
—, Wellenlängen der farbigen Zonen und der Fraunhoferschen Linien 211. 212.
—, Wirkung auf Bromsilbergelatine mit verschiedenen Farbstoffen 227. 228. 236. 238 bis 241.
Sonnenstrahlung 331.
Speed einer Platte 42. 62.
Spektrale Empfindlichkeit von Silberhaloiden und von verschiedenen Sensibilisatoren, Tabelle 238 bis 241.
Spektralbezirke, Lichtenergie verschiedener 326.
Spektral-Sensitometrie 458 bis 461.
Spektrographen, einfache mit geradsichtigen Prismensätzen 213 bis 219.
—, Fluorit-Vakuum- 231.
— für Serienaufnahmen 229.
—, Gitter- 223 bis 229.
— mit Abklatschgitter 225. 226.
— — Keilspalt 230.
— — Konkavgitter 225. 226.
— — Uviolglas 219 bis 223.
Spektrographische Prüfung von photographischen Platten 563.
Spektrometrische Prüfung von Sensibilisatoren mit Bromsilberkollodium und Chlorsilbergelatine 243.
Spektroskop à vision directe 213.
Spektrum, Solarisation im 533 bis 536.
—, Zerlegung in schmale Zonen durch Gelatinefilter 283. 284.
Spektrumphotographie 211 bis 264.
Spielraum der Belichtung 39. 59. 60. 93.
— — — bei Kopierpapieren 93. 102. 103.
— — —, effektiver 103.
— — —, exakter 103.
Spitzlichter 35. 36.
Standardemulsion für Sensitometrie 231.
Standard-Tageslicht s. Mittagssonnenlicht.
Standentwickler 144.
Stärke, Reflexionsvermögen 303.
Statistische Methode 114 bis 123.
Stilb 19.
Strahler, grauer 325.
—, schwarzer 324.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Strahlungsenergie 17.
Strahlungsgesetze 324. 325.
Superpanfilme, Farbenempfindlichkeit 425.
Superpanplatten, Farbenempfindlichkeit 425.
Synthetisches weißes Licht 285.

T.

Tabelle der angezeigten Lichtempfindlichkeit im Graukeilsensitometer und Reduktionstabelle für andere Sensitometergrade 410. 411.
— — — Lichtmengen im Eder-Hecht-Dauerphotometer 434. 437. 438.
— — — — — — im Eder-Hecht-Kopierphotometer 432.
— der Empfindlichkeit auf gleiche Werte der Sonnenenergie bezogen 245.
— — — hypersensibilisierter panchromatischer Bromsilbergelatine gegen verschiedene Lichtquellen 359.
— — — in Abhängigkeit von der Beleuchtungsintensität 323.
— — — photographischer Platten bei Hefner- und Bogenlicht 358.
— — Farbtemperatur verschiedener Lichtquellen 330.
— — — von Glühlampen 330.
— — Lichtwirkung in SMK im Graukeilsensitometer 407.
— — optischen Eigenschaften der Lichtfilter im Graukeilsensitometer 398.
— — relativen Aktinität verschiedener Lichtquellen für Bromsilbergelatine 355. 357.
— — — Empfindlichkeit, bezogen auf Blau 413.
— — Sensibilisierungskurven von Farbstoffen 237 bis 241.
— — Skalenwerte des Graukeilsensitometers 406.
— — spektralen Energieverteilung im mittleren Mittagssonnenlicht 334.
— — Vergleichung der unkorrigierten Sensitometergrade Eder-Hecht bei Hefner-Licht, Magnesiumlicht 414.
— — wahren Farbenempfindlichkeit bei Magnesiumlicht, bezogen auf Blau 420.
— — — — — von verschiedenen Plattensorten 422. 423.
— — Wirkung des Farbensensibilisators auf die Blauempfindlichkeit 427.
Tabelle des Dichtenunterschiedes im diffusen und gerichteten Licht 467.
— — Temperaturkoeffizienten verschiedener Entwickler 172.
— zur Dichtigkeits-Ermittlung mittels des Polarisationsphotometers von Martens 466.
— — Umrechnung der Intensitäten der Farbenbezirke verschiedener Lichtquellen auf Magnesium als Standard 350.
— — Umwandlung der Sensitometergrade Eder-Hecht hinter den Farbfiltern in wahre Farbenempfindlichkeitswerte 415.
Tageslicht, Filterfaktoren für weißes 267.
—, Nachahmung der Farbe von 265.
— -Brille 293. 294.
— -Filter 285 bis 296. 371.
— -Kasten 292. 293.
— -Lampen für graphische Zwecke 285. 371.
— — industrielle Zwecke 285 bis 296. 371.
Tantalspektrum 213.
Temperaturgrade, absolute 325.
—, —, Farbtemperatur in 328.
Temperaturkoeffizient, photochemischer 171 bis 173.
—, —, für die Belichtung von Trockenplatten 171 bis 173.
— verschiedener Entwickler, Tabelle 172.
Testobjekt für das Auflösungsvermögen 527.
— — — Gamma 118.
Tiefdruckplatten, Schwärzungskurven 52.
Tiefe der größten Schwärzung bei Kopierpapieren 86.
Tiefenentwicklung 134.
Titansäure, Ultraviolettabsorption 304.
Toe 56.
Toleranz in der praktischen Sensitometrie 563.
Tonfilm, Sensitometrie 571. 572.
Tonkontrast 107.
Totale Skala s. Skala.
Totalradiator 324.
Trägheit s. Inertia.
Transmission von farbigen Glasplatten 269.
Transmissionsdichte 20.
Transmissionsfähigkeit 22. 110.

Transmissionsphotometer 88.
Transmissionsspektrum von Lichtfiltern, Einfluß der Lichtintensität auf das 280. 281.
Transparenz 22.
—, ideale, Umrechnung von farbigen Gelatine-Trockenfiltern auf 273 bis 276. 283. 351.
—, verschiedenartige flüssiger und trokkener Lichtfilter, Bestimmung 276 bis 279.
Trockenfilter s. Lichtfilter.
Trocknen der Sensitometerproben 133.
Trübung der Emulsion 509. 510.
Trübungsfaktor 337. 522. 524.
— des Lichtes 337.
Turbidität 509. 510. 529. 524.
Turbiditätsfaktor 524.
Tuschegelatine für Skalenphotometer 3 bis 7. 10. 34. 383 bis 444.

U.

Überexposition 36. 39.
—, Schwärzungskurve 39.
Übergang von einer Lichtquelle zu einer anderen 349 bis 352.
Ulbrichtsche Kugel 466.
Ultraviolett durchlässiges Fensterglas 300. 301.
— -Photometrie 458 bis 461.
— -Spektrum 213.
— -Transmission verschiedener Medien 296 bis 301.
Ultravitglas 300.
Umfang der Gradation von Kopierpapieren 91 bis 97.
— des Kopierpapieres 94.
Umrechnung der im Graukeil gefundenen relativen Farbenempfindlichkeiten in wahre Farbenempfindlichkeiten, bezogen auf ideal transparente Lichtfilter 415 bis 419.
Unimeter 310. 311. 320.
Unterexposition, Schwärzungskurve 39. 60 bis 62.
—, —, Fuß der 55 bis 57.
—, Zone der 33. 35. 36. 39. 55.
Unterschiedsempfindlichkeit, photographische 94.
—, visuelle 94.
Unterschieds-Schwelle 27.
Untersuchung der Farbenempfindlichkeit photographischer Platten 211 bis 264.
Uviolglas-Spektrographen 219 bis 223. 300.

V.

Vakuumspektrograph 231.
Veränderung des Schwellenwertes und der Gradation beim Fixieren 92.
Veränderlichkeit des Gammas bei Aufnahmen hinter Farbfiltern 259 bis 264.
Verbreiterung s. Nachbareffekt.
Verdünnung des Entwicklers, Einfluß auf das Gamma 144. 145.
Verhalten verschiedener Emulsionssorten 249 bis 259.
Verhältnis der Empfindlichkeit photographischer Platten bei verschiedenen Lichtquellen 421.
Verlängerungsfaktor 267.
— für Gelbfilter bei verschiedener Lichtart 268.
Verminderung des photochemischen Effekts auf Bromsilbergelatine mit zunehmender Entfernung der Lichtquelle 182.
Violettfilter beim Kopieren von Duplikatfilmen 280.
Visuelle Helligkeit, Eignung orthochromatischer Platten zur Messung der 254.
Visuelles Detail 102.
Vitaglas 300. 301.
Vorbelichtung, Einfluß auf Empfindlichkeit und Gradation 160 bis 170.
—, Grenze des Schwellenwertes 28. 160.
— und Photometrie der Gestirne 163.
— von Gaslichtpapieren 165. 166.
— — -Trockenplatten 160 bis 166. 169. 170.
— — hypersensibilisierten Filmen 169. 170.
—, Filter für 161. 169.
Vorbelichtungslampe 161.

W.

Warnerke-Sensitometer 4 bis 7.
Wasser-Effekt 566.
Watkins Standard 458.
Weißgehalt der Farbe 275. 305.
— verschiedener Lichtquellen 325.
Weiterentwicklung der Auskopierpapiere 86.
Wellenlänge der farbigen Zonen und der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum 211. 212.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Wellenlänge des Lichtes; Abhängigkeit des Schwarzschildschen Exponenten von der 186 bis 188.
— — —, — der Gradation von der 246 bis 248.
Wellenlängen der Höchster Farbtafel 306.
Widerstandskraft von Emulsionen gegen Lichthöfe 515.
Woodburydruck für Skalenphotometer 3. 4. 384.
Wynne's Standard 458.

Z.

Zeit-Dichtekurven von Entwicklern 136.
Zeiteffekt 15. 183. 533.
Zeitskala 65.
— im Sensitometer 383 bis 386.
Zelloidinpapiere, Gradationsumfang vor und nach dem Fixieren 92.
—, Normalpapier mit 126.
Zelluloid, Ultraviolett-Durchlässigkeit 298.
Zinkweiß für reflektierende Flächen 303. 304.
—, Ultraviolettabsorption 304.
Zone, neutrale 35. 36.
Zurückgehen der Kopien im Ton- und Fixierbade 86. 92.
Zusammenhang der Opazität mit der Schwärzung 23.
— von Gradation und Wellenlänge 211. 246 bis 249.
— — — und Farbenempfindlichkeit 259.
— — Zeit und Intensität bei der photographischen Expositionen 66 bis 72.
Zyanin 567.
Zyaninplatten im Spektrum 535.
Zyanotyppapier, Kopierumfang 96.
— zur Photometrie s. Lichtpauspapier.
Zyklaminplatten im Spektrum 535.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Druckfehlerverzeichnis.

Seite 30, Absatz 3, Zeile 1 von oben ist „als“ zu streichen.
„ 44, Zeile 14 von oben „es“ statt „er“.
„ 47, „ 5 „ unten nach „ließen“, . verließ“ einzufügen.
„ 77, „ 3 „ unten ist vor „Formen“ „in den“ einzufügen.
„ 99, „ 1 „ oben „Gevaert“ statt „Gaevert“.
„ 101, „ 8 „ oben „scheidet“ statt „scheiden“.
„ 102, „ 4 und 5 von oben „Pizzighelli“ statt „Pizigelli“.
„ 103, „ 14 von unten „L. A. Jones“ statt „L. J. Jones“.
„ 122, „ 16 „ unten ist einmal „das“ zu streichen.
„ 128, Absatz 2, Zeile 1 von unten „Ein“ statt „In“.
„ 130, Absatz 4, Zeile 5 von oben „hat“ statt „habe“.
„ 138, Zeile 9 von unten „Volumen“ statt „Volume“.
„ 139, „ 9 „ „ ist „Optic“ zu streichen und „d'Optique“ einzufügen.
„ 153, Absatz 2, Zeile 2 von oben „development“ statt „developement“.
„ 166, Absatz 3, Zeile 5 von oben ist nach „t“ ein Beistrich einzufügen.
„ 185, Zeile 7 von oben „Phänomene“ statt „Phänomenen“.
„ 185, „ 4 „ unten „gesteigerten“ statt „gesteigerter“.
„ 202, Absatz 2, Zeile 3 von oben „L. A. Jones“ statt „E. A. Jones“.
„ 220, ist bei Abb. 78 das „E.“ nach „Abb.“ zu streichen.
„ 251, Zeile 9 von unten ist „1926“ zu streichen.
„ 324, Absatz 3, Zeile 7 von oben „Tageslichtlampen“ statt „Tageslampen“.
„ 328, Zeile 4 von unten soll stehen: ($\pm$ 75° absol.) statt ($+$ 75° absol.).
„ 329, Absatz 5, Zeile 1 von oben „Irwin“ statt „Erwin“.
„ 337, Absatz 12, Zeile 1 von oben „Energy“ statt „Energie“.
„ 360, „ 1 von unten „terrestrischen“ statt „terrestischen“.
„ 363, Absatz 3, Zeile 5 von unten oben „Angström“ statt „Anström“.
„ 374, Zeile 3 von oben: „umgerechnet 300,“ statt „200“.
„ 389, Zeile 10 von unten „Schwarzschildschen“ statt „Schwarzschildchen“.
„ 397, „ 21 „ „ „Sensitometer-Ausführung wurde später freizugeben“ statt „Sensitometer-Ausführung freigegeben“.
„ 415, Zeile 10 von oben „Lichtfilter“ statt „Lichfilter“.
„ 431, „ 16 „ unten „3 × 12“ statt „2 × 12“.
„ 442, „ 1 „ oben „und 139“ ist zu streichen.
„ 442, „ 2 „ „ „139 a und b“ statt „140 bis 142“.
„ 442, „ 3 „ „ „140 bis 142“ statt „140“.
„ 442, „ 6 „ „ (Titel zur Abb. 142) „zweiteiliges“ statt „zweikeiliges“.
„ 459, „ 9 „ unten „Lichtquelle“ statt „Lichtwelle“.
„ 460, Absatz 3, Zeile 3 von oben „Scient.“ statt „Sci.“.
„ 463, Fußnote Zeile 2 „1912“ statt „9112“.
„ 470, Zeile 7 von unten „d'Essais“ statt „'dEssais“.

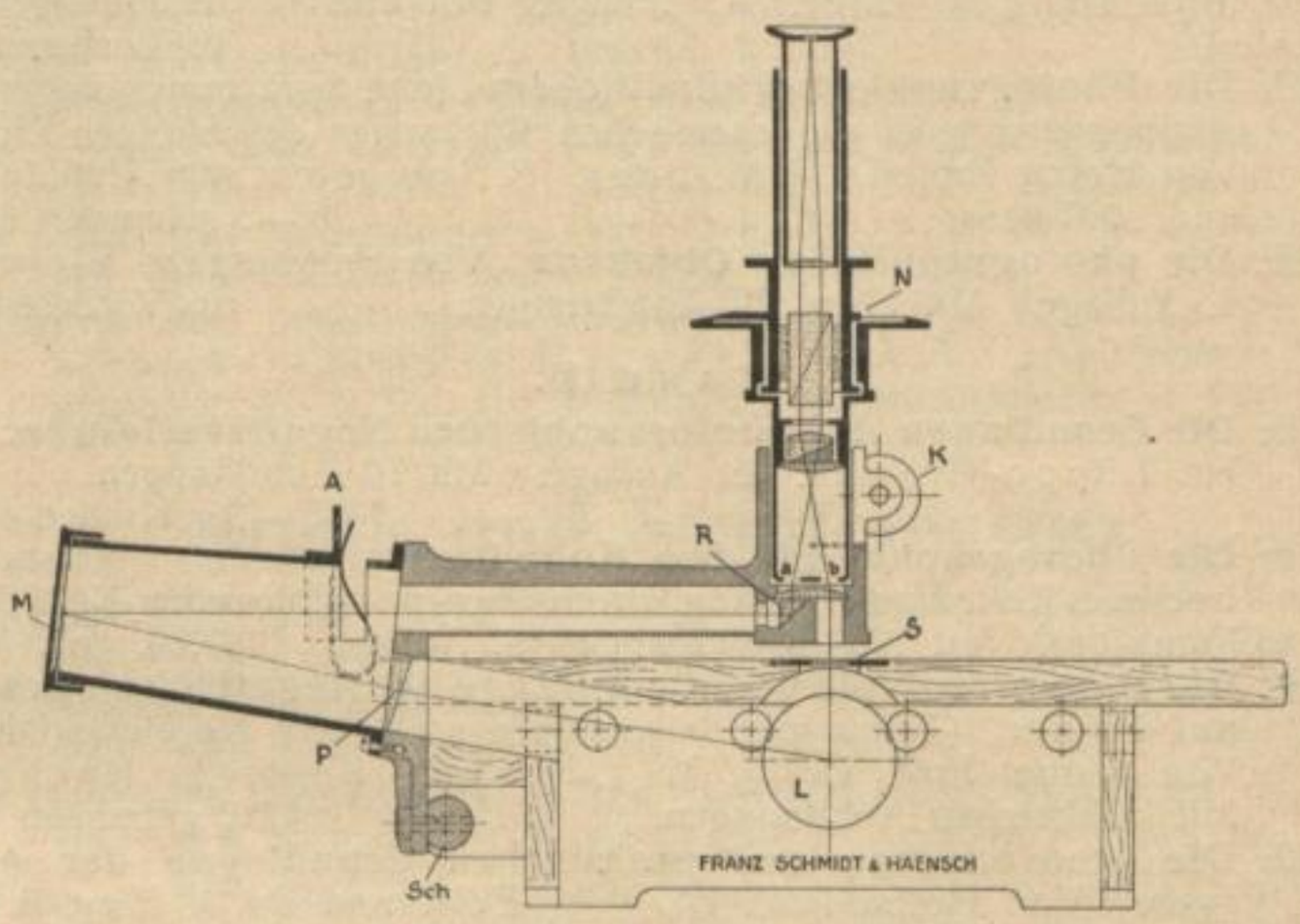
SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Franz Schmidt & Haensch

Optisch-Mechanische Werkstätten

Prinzessinnenstr. 16 Berlin S 42, Prinzessinnenstr. 16

gegründet 1864



Dichtigkeitsmesser nach Martens-Goldberg

Dichtigkeitsmesser nach Martens-Bechstein

Densograph nach Goldberg

Spektroskope und Spektrographen

neuester Ausführung

Druckschriften kostenlos.

Verlag von Wilhelm Knapp, Halle (Saale).

Ausführliches Handbuch der Photographie.

Herausgegeben von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder
e. Direktor der staatlichen Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt zu Wien.

Band I.

1. Teil: **Geschichte der Photochemie und Photographie.** Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Kustos E. Kuchinka 4. Aufl. Mit über 150 Abbildungen. In Vorbereitung.
2. Teil: **Photochemie** (die chemischen Wirkungen des Lichtes). Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 4. Auflage. Mit über 50 Abbildungen. In Vorbereitung.
3. Teil: **Die Photographie bei künstlichem Licht,** Spektrumphotographie, Aktinometrie und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Auflage mit 409 Abbildungen und 10 Tafeln. 26,—, gebunden 30,—.
4. Teil: **Die photographischen Objektive.** Von Professor Dr. Weidert. 4. Auflage. Mit über 270 Abbildungen. In Vorbereitung.

Band II.

1. Teil: **Die Grundlagen der photographischen Negativverfahren.** Von Dr. Lüppo-Cramer. 3. Auflage. Mit 16 Abbildungen. 38,—, gebunden 41.—.
2. Teil: **Die Photographie mit dem Kollodiumverfahren.** (Nasses und trockenes Kollodiumverfahren, Bromsilber- und Chlorsilber-Kollodium-Emulsion). Mit 126 Abbildungen. 3. Auflage. 17,20, geb. 19,20.
3. Teil: **Die Daguerreotypie und die Anfänge der Negativphotographie auf Papier** (Talbotypie, Niepcotypie und ältere Negativverfahren). Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Kustos E. Kuchinka. Mit zahlreichen Abbildungen. 4,70, gebunden 6.20.
4. Teil: **Die theoretischen und praktischen Grundlagen der Autotypie.** Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Dr. A. Hay. 3. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen. 6,30, gebunden 7,80

Band III.

Die Photographie mit Bromsilber- und Chlorsilbergelatine. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Dr. Lüppo-Cramer unter Mitwirkung von Dr. M. Andresen, Dr. Ing. F. Wentzel, Dr. Schuloff und anderen Fachmännern. 6. Auflage.

4. Teil: **Die Sensitometrie, photographische Photometrie und Spektrographie.** Von Hofr. Dr. J. M. Eder. Mit 200 Abbild. u. 10 Tafeln. 42,—, geb. 44,50.

Band IV.

1. Teil: **Die photographischen Kopierverfahren mit Silbersalzen.** (Positivprozeß). Von Dr.-Ing. F. Wentzel. 3. Auflage. Mit 58 Abbildungen u. 48 Tafeln. 21,—, gebunden 23,50.
2. Teil: **Das Pigmentverfahren, Öl-, Bromöl- und Gummidruck.** Lichtpaus- und Einstaubverfahren mit Chromaten etc. Von Hofrat Prof Dr. J. M. Eder. 4. Auflage. Mit 58 Abbildungen. 27.— gebunden 29,50.
3. Teil: **Heliogravüre und Rotationstiefdruck;** ferner Photogalvanographie, Photoglyptie, Asphaltverfahren und photographische Ätzkunst. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Auflage. Mit 136 Abbildungen. 17,—, gebunden 19,50.
4. Teil: **Die Lichtpausverfahren, die Platinotypie und verschiedene Kopierverfahren ohne Silbersalze.** 3. umgearbeitete und vermehrte Auflage. Bearbeitet von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Dr. A. Trumm. Mit 30 Abbildungen. 15,50, geb 17,50.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Lehrbücher.

Ratgeber im Photographieren. Leichtfaßliches Lehrbuch für Liebhaberphotographen. Von L. David, Generalmajor a. D. 241.—255. Aufl. 765. Tausend. Mit 102 Textabbildungen, 31 Tafeln und einer Belichtungstabelle. Taschengröße. 2,40, gebunden 2,70.

Photographisches Praktikum. Lehrbuch der Photographie. Von L. David, Generalmajor a. D. 6. Auflage. Mit 376 Abbildungen und 16 Kunstdrucktafeln. 16,–, gebunden 19,—.

Lehrbuch der praktischen Photographie. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe u. Prof. O. Mente. 4. Aufl. Mit 139 Abb. 8,–, geb. 10,20.

Technik der Lichtbildnerei. Von H. Kühn. Im Druck.

Zur photographischen Technik. Von H. Kühn. 6,80.

Wie erlangt man brillante Negative und schöne Abdrucke? Von Dr. G. Hauberisser. 21.–25. Auflage. Mit 47 Abbildungen. 1,80.

Das A B C des Lichtbildners. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe. Mit 38 Abbildungen und 4 Tafeln. 2. Auflage. Im Druck.

Leitfaden der praktischen Photographie. Von G. Pizzighelli, neu bearb. v Chemiker P. Hanneke. 14. Aufl. d. „Anleitung z. Photographie". 37.-39. Tsd. Mit 269 Abb. u. 9 Kunstdrucktafeln. Vergriffen.

Optik und Sensitometrie.

Vorträge über photographische Optik. Von Dozent H. Schmidt. 3.—4. Aufl. Mit 81 Abbild. und 2 Tafeln. 2,50, gebunden 3,20.

Die photographischen Objektive. Von Prof. Dr. Weidert. 4. Auflage. Mit 272 Abbildungen. Im Druck.

Der Gebrauch der Blende in der Photographie. Von Oberst H. Freiherr von Cles. Mit 37 Abb. 2. Aufl. von Dr. R. Richter. 1,80.

Ein neues Graukeil-Photometer für Sensitometrie, photographisches Kopierverfahren und wissenschaftliche Lichtmessungen. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. Mit 2 Abb. und 2 Tafeln. 1,30.

Mess- und Prüfungsmethoden in der photographischen Praxis. Von Dr. R. Defregger. 4,70, gebunden 5.80.

Chemie und Photochemie.

Rezepte und Tabellen für Photographie und Reproduktionstechnik, welche an der Graph. Lehr- u. Versuchsanstalt zu Wien angewendet werden. Herausgeg. v. Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 12.-13. Aufl. 6,50, gbd. 7,50.

Vorträge über Chemie und Chemikalienkunde für Photographierende. Von Dozent H. Schmidt. 3.—4. Auflage. Mit einem Anhang über lateinische Bezeichnungen. 2,50, gebunden 3,20.

Photographische Chemie und Chemikalienkunde mit Berücksichtigung der Bedürfnisse der graphischen Druckgewerbe. Von Hofrat Professor E. Valenta. 2. Auflage.

I. Teil: **Anorganische Chemie.** 8,—, gebunden 10,20.
II. Teil: **Organische Chemie.** 9,50, gebunden 11,70.

Photochemie. Von Dr. J. Plotnikow. Mit 15 Abbildungen. 6,—.

Reifung von Bromsilbergelatine mit Ammoniak und Ammoncarbonat. Von Dr.-Ing. O. Papesch. 2,30.

Die Herstellung photographischer Lösungen. Von J. I. Crabtree und C. E. Matthews. Übers. und bearbeitet von C. Emmermann. Mit 7 Abbildungen. 4,50, gebunden 5,80.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Negativverfahren.

Vorträge über die photographischen Verfahren. Von Dozent H. Schmidt. 3. Auflage. Mit 8 Abbildungen. 2,20, gebunden 2,80.

Die Entwicklung der photographischen Bromsilber-Gelatineplatte bei zweifelhaft richtiger Exposition. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 5. Auflage. Mit 1 Tafel. 1,40, gebunden 2,—.

Die Standentwicklung und ihre Abarten für den Amateur- und Fachphotographen. Von Dozent H. Schmidt. 3.—4. Auflage. Mit 29 Abbildungen. 1,50, gebunden 2,10.

Wie erlangt man brillante Negative und schöne Drucke. Von Dr. Hauberißer. Mit 29 Abbildungen u. 18 Kunstbeilagen. 1,80.

Die Misserfolge in der Photographie. 1. Teil: Negativverfahren. Von H. Müller. 6.-7. Aufl. Mit 4 Abb. u 8 Tafeln. 2,40, gbd. 3,—.

Wirtschaftliches Arbeiten im Negativ- und Positivprozeß. Von H. Zaepernick. 2,20.

Die orthochromatische Photographie. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. Mit 16 Abbildungen und 10 Tafeln. 3,50, gebunden 4,20.

Der Aufbau des photographischen Bildes. Von Prof. Dr. E. Goldberg. 2. Auflage. Mit 55 Abbildungen. 5,50, gebunden 7,—.

Die Fehler im nassen Kollodionverfahren, deren Ursache und Abhilfe. Von Fachlehrer R. Rothmaier. 0,50.

Positivverfahren nebst Diapositivverfahren und Vergrößern.

Vorträge über die photographischen Verfahren. Von Dozent H. Schmidt. 3. Auflage. Mit 8 Tafeln. 2,20 gebunden 2,80.

Die Misserfolge in der Photographie. II. Teil: Positivverfahren. Von H. Müller. 5.—6. Auflage. 2,40, gebunden 3.—.

Wirtschaftliches Arbeiten im Negativ- und Positivprozeß. Von H. Zaepernick. 2,20

Das Arbeiten mit Gaslicht- und Bromsilberpapieren einschließlich des Postkartendrucks, sowie einer kurzen Anleitung zur Herstellung vergrößerter Bilder. Von Chemiker F. Hanneke. 3. Auflage. Mit 35 Abbildungen und Tafeln. 3,80, gebunden 4,80.

Auskopierpapiere ohne Metalltonung. Von Prof. Dr. E. Stenger. 3,40, gebunden 4,90.

Die Tonungsverfahren von Entwicklungspapieren. Von Ober-Reg.-Rat Dr. E. Sedlaczek. 2. Auflage. 2,80, gebunden 3,50.

Das Kopieren bei elektrischem Licht. Von Dr. A. Freiherr von Hübl. 2. Auflage. Mit 22 Abbildungen und 1 Tafel. 1,50.

Neuzeitliche photographische Kopierverfahren. Ozobromprozeß, Bromsilberpigmentpapier, Pigmentgravüre, Oeldruck, Bromöldruck, Katatypie, Druckschriften - Kopierverfahren. Von Dr. E. Stenger. 3. Auflage. 2,60, gebunden 3,30.

Das Pigmentverfahren, der Gummi-, Oel- und Bromöldruck und verwandte photographische Kopierverfahren mit Chromsalzen. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 4. Auflage. Mit 58 Abbildungen. 27,—, gebunden 29,50.

Der Pigmentdruck. Von H. Zaepernick. 2,—

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Das Bromöldruckverfahren und der Bromölumdruck. Von Dr. E. Mayer. 10.–11. Auflage. 3,80, geb. 4,90.

Die Selbstbereitung von Bromöldruckfarben. Von E. Guttmann. 3. Auflage. —,90.

Der Umdruck im Bromöldruckverfahren. (Handpressendruck.) Von E. Guttmann. 3. Auflage. 1,40.

Anleitung zur Herstellung von Bromölumdrucken nach der Abreibemethode. Von H. Minuth. Mit 12 Abbildungen. 0,60.

Der Gummidruck. Von A. Meyer. Mit 4 Abb. u. 4 Tafeln. 1,40.

Die Diapositivverfahren. Von G. Mercator. 4. Aufl. 2,—, geb. 3,—.

Handbuch des Vergrößerns auf Papieren und Platten. Von Prof. Dr. F. Stolze. Neu bearbeitet von P. Thieme. 4. Auflage.

I. Teil: Die Vergrößerungsgeräte, Grundlagen und Aufbau. 4. Auflage. Mit 180 Abbildungen. 5,—, gebunden 5,70.

II. Teil: Die Praxis des Vergrößerns. Im Druck.

Die Praxis des Vergrösserns. Von H. Zaepernick. Mit 36 Abb. 3,20, gebd. 4,30.

Retusche und Kolorieren.

Die photographische Retusche. Nebst einer Anleitung zum Kolorieren von Photographien. Von G. Mercator. 8. Auflage. 2,20.

Anleitung zum Kolorieren photographischer Bilder. Von G. Mercator. 3. Aufl. 1,60, geb. 2,20.

Apparate nebst Zubehör und Aufnahmetechnik.

Das Arbeiten mit kleinen Kameras nebst praktischer Anleitung zu der Entwicklung der kleinen Negative, sowie der Herstellung von Kopien und Bildvergrößerungen. Von Chemiker P. Hanneke. 6.—7. Auflage. Mit 67 Abbildungen. 2,20, gebunden 3,30.

Die Spiegelreflexkamera. Von A. Mayer, neu bearbeitet von P. Hanneke. 3. Auflage. Mit 52 Abbildungen. 2,20, gebunden 3,30

Die Stereoskopie. Von Dr. J. Rheden. 3. Auflage. Mit 31 Abbildungen. 2,—, gebunden 3,40.

Die Panoramenapparate. Von Prof. Dr. F. Stolze. Mit 33 Abb. 2,—.

Die Lichtfilter. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 3. Auflage. Mit 18 Abbildungen und 6 Tafeln. 4,90, geb. 6,10.

Die richtige Belichtung. Von Dr. J. Rheden. 2. Auflage. 2,60, geb. 3,60.

Die Hilfsmittel zur Bestimmung der Belichtungsdauer. Von Dr. J. Rheden. Mit 48 Abbildungen. 4,50, gebunden 5,80.

Die Belichtungsmesser der photographischen Praxis. Von Dr. R. H. Blochmann. 2. Auflage. Mit 6 Abbildungen. 1,80.

Einführung in die Elektrizitätslehre für Photographen und Filmschüler. Von E. Koch. Mit 51 Abbildungen. 3,80, geb. 5,40.

Photographieren bei künstlichem Licht.

Das Photographieren mit Blitzlicht. Von Dozent H. Schmidt. 3. Auflage. Mit 60 Abbild. und 8 Tafeln. 4,—, gebunden 5,20.

Die Photographie bei künstlichem Licht, Spektrumphotographie, Aktinometrie und die chemischen Wirkungen des farbigen Lichtes. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Aufl. Mit 409 Abb. u. 10 Taf. 26,—, gbd. 30,–

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Farbenphotographie.

Die Theorie und Praxis der Farbenphotographie mit Autochrom- und anderen Rasterfarbenplatten. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 5. Auflage. Mit 8 Abbildungen. 2,—, gebunden 2,60.

Die Photographie in natürlichen Farben mit besonderer Berücksichtigung des Lippmannschen Verfahrens, sowie jener Methoden, welche bei einmaliger Belichtung ein Bild in Farben liefern. Von Prof. E. Valenta. 3. Aufl. Mit 32 Abb. und 6 Tafeln. Im Druck.

Die Dreifarbenphotographie mit besonderer Berücksichtigung des Dreifarbendruckes und ähnlicher Verfahren. Von Dr. A. Freiherrn von Hübl. 4. Aufl. Mit 35 Abb. und 4 Tafeln. 4,50, gebunden 5,20.

Kalender und Jahrbücher.

Photographischer Notizkalender. Bearbeitet von Chemiker P. Hanneke. Erscheint bereits seit 1896 regelmäßig zur Jahreswende. Inhalt: Kalendarium, Rezepte, Tabellen, Ratschläge, praktische Winke, rechtliche und gewerbliche Fragen. Taschengröße. 3,50.

Jahrbuch für Photographie, Kinematographie und Reproduktionsverfahren. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Kustos E. Kuchinka. Berichte über die alljährlichen Fortschritte der Wissenschaft und Praxis auf jenen Gebieten. 30. Band, Jahrg. 1921—1927. In 3 Teilen.
Jeder Teil 19,—, gebunden 21,—.
Jahrg. 1915—1920. Mit 155 Abb. 13,—, geb. 14,20.
Frühere Jahrgänge per Band 7,20.

Künstlerische Photographie.

Künstlerische Landschaftsphotographie. Zwölf Kapitel zur Aesthetik photographischer Freilichtaufnahmen. Von Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. A. Miethe. 6.–7. Auflage. Mit 92 Textabbildungen und Reproduktionen nach Schöpfungen hervorragender Lichtbildner. In geschmackvoller und sorgfältigster Ausstattung. 9,–, gebunden 10,80.

Bildmässige Photographie. Von Kunstmaler F. Matthies-Masuren. 3. Auflage. Mit 24 ganzseitigen Tafelbildern in feinster Buchdruckausführung auf Chamoiskunstdruckpapier nach Landschafts- und Porträtarbeiten der bekanntesten Lichtbildner des In- und Auslandes. 4,80, geb. 6,—.

Angewandte Photographie.

Hochgebirgs- und Winterphotographie. Von Dr. Kuhfahl. 6.–7. Auflage. Mit 32 Bildertafeln, 3.90, geb. 5.70.

Bild und Film im Dienste der Technik. Von Ingenieur A. Lassally.
I. Teil: **Betriebsphotographie.** Mit 39 Abbild. 3,50, gebunden 4,20.
II. Teil: **Betriebskinematographie.** Mit 50 Abb. 6,—, gebunden 6,70.

Lehrbuch der Röntgenographie. Von H. Traut und Oberarzt Dr. H. Engelken. Mit 103 Abbildungen. 4,—, gebunden 4,70.

Die Photoplastik. Herstellung photographischer Skulpturen und ähnliche Verfahren. Von E. Kuchinka. Mit 23 Abbildungen. 3,80.

Heimatphotographie. Die Photographie im Dienste von Heimatschutz und Heimatforschung. Von Dr. Kuhfahl. Mit 12 Abbildungen. 1,80.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Pflanzenphotographie. Von B. Haldy. Mit 9 Abbildungen. 1,80.
Architekturphotographie. Von B. Haldy. Mit 8 Tafeln. 1,80.
Kunstgewerbliche Photographie. Von B. Haldy. Mit 14 Abb. 1,80.
Die Aktphotographie. Von L. Herrlich u. Dr. W. Warstat. Mit 9 Abbildungen. 1,80.
Tierphotographie. Von E. Lutz. Mit 8 Abbildungen. 1,80.
Sportphotographie. Von M. Schirner. 1,80.
Die Heimphotographie. Von A. Ranft. 3.—4. Aufl. 2,50, gebunden 3,20.
Der Porträt- und Gruppenphotograph beim Setzen und Beleuchten. Von E. Kempke. 3. Auflage. 1,—.
Die Wiederherstellung alter photographischer Bilder und Reproduktion derselben im ursprünglichen und in neuzeitlichen Verfahren. Von Dr. E. Stenger. 2,—
Die Grundlagen der Reproduktionstechnik. In gemeinverständlicher Darstellung. Von Prof. Dr. E. Goldberg. 2. Auflage. Mit 49 Abbildungen. 3,50, gebunden 4,60.
Die Photographie aus der Luft. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Miethe. 2. Auflage. 2,—, gebunden 2,70.
Die Photographie im Dienste der Presse. Von P. Knoll. Mit 26 Abbildungen. 2,50, gebunden 3,90.
Die Photogrammetrie bei kriminalistischen Tatbestandsaufnahmen. Von Dr. F. Eichberg. Mit 21 Abbildungen. 1,60.
Die Palimpsestphotographie (Photographie radierter Schriften) in ihren wissenschaftlichen Grundlagen und praktischen Anwendungen. Von P. R. Kögel, O. S. B. Mit 42 Abbildungen. 3,—.
Handbuch für die Kalkulation im Photographengewerbe mit Anleitung für eine zweckentsprechende Buchführung. Bearb. v. J. Lüpke und F. Gellert. Mit 3 Ausschlagetafeln. 2,—.

Kinematographie.

Handbuch der praktischen Kinematographie. Herausgegeben von F. P. Liesegang und G. Seeber.

Band I: **Die Geschichte des Films.**

Band II: **Die Herstellung des Films.**
1. Teil: Rohfilmfabrikation. 2. Teil: Filmaufnahme. 3. Teil: Entwickeln und Kopieren.

Band III: **Die Vorführung des Films.**
1. Teil: Die kinematographische Projektion. Von Dir. Dr. H. Joachim. 7. Auflage. Mit 334 Abbildungen. 10,80, gebunden 12,80.

Band IV: **Sondergebiete des Films.**
1. Teil: Wissenschaftliche Kinematographie.

Hilfsbuch für den Kameramann. Mit 65 Abbildungen.
Der gezeichnete Film. Von E. Lutz. Übersetzt und erheblich ergänzt von Dr. K. Wolter. Mit 165 Abbildungen. 12,—, gebunden 13,80.
Betriebskinematographie. Von Ing. A. Lassally. Mit 50 Abbildungen. 6,—, gebunden 6,70.

Die Bücher des Lichtspielvorführers.
1. Mein Vorführungsraum. Von R. Dahlgreen. Mit 17 Abbildungen. 1,—.
2. Das Kofferkino. Von R. Dahlgreen. Mit 17 Abbildungen. 1,—.

Der sichtbare Mensch. Eine Filmdramaturgie. Von Bela Balazs. 3,50, geb. 4,80.
Kurble. Ein Lehrbuch des Filmsports. Von C. Emmermann, G. Seeber und Dr. K. Wolter. Mit 97 Abbildungen. 6,60, gebunden 7,80.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Reproduktionstechnik und Graphik.

Lexikon der graphischen Techniken. Von Prof. K. Albert. 13,60, gbd. 15,80.

Der Halbtonprozeß. Ein praktisches Handbuch für Halbtonhochätzung auf Kupfer und Zink. Autorisierte Übersetzung aus dem Englischen. Von Prof. Dr. G. Aarland. Mit 78 Abbild. und 5 Tafeln 3,—.

Das Aluminium in seiner Verwendung für den Flachdruck. (Die Algraphie.) Von Professor A. Albert. 1,60.

Die Reflektographie für Reproduktion ohne photographische Kamera und der anastatische Druck. Von Reg.-Rat A. Albert. 0,50.

Die Verwendung des Zinks für den lithographischen Druck nach dem Verfahren von Dr. Strecker. Von C. Blecher. 1,40.

Lehrbuch der Chemigraphie. 2. Auflage von „Die Autotypie und der Dreifarbendruck". Von Professor K. H. Broum. Mit 78 Abbildungen und 8 Tafeln. 7,80, gebunden 9,40.

Heliogravüre und Rotationstiefdruck, ferner Photogalvanographie, Photoglyptie, Asphaltverfahren und photographische Aetzkunst. Von Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder. 3. Auflage. Mit 136 Abbildungen. 17,—, gebunden 19,50.

Handbuch der Lithographie. Nach dem gegenwärtigen Stande dieser Technik. Von Reg.-Rat G. Fritz. Mit 243 Abbildungen und 23 Tafeln, davon 11 in Farbendruck. 35,—, gebunden 39,50.

Die Grundlagen der Reproduktionstechnik. In gemeinverständlicher Darstellung. Von Prof. Dr. E. Goldberg. 2. Auflage. Mit 48 Abbildungen. 3,50, gebunden 4,60.

Die Schriftlithographie. Eine theoretisch-praktische Anleitung zur Erlernung der Schrift. Mit Vorlageblättern sämtlicher in der lithographischen Technik zur Anwendung kommenden Schriftcharaktere unter besonderer Berücksichtigung der modernen Kunstrichtung. Von F. Hesse †, Oberfaktor der lithographischen Abteilung der Hof- und Staatsdruckerei in Wien. Mit 150 Abbildungen und 30 Tafeln. 15,—

Der Lichtdruck an der Hand- und Schnellpresse samt allen Nebenarbeiten. Von Prof. A. Albert. 2. Aufl. Mit 71 Abb. u. 8 Taf. 5,50.

Die Dreifarbenphotographie mit besonderer Berücksichtigung des Dreifarbendruckes und ähnlicher Verfahren. Von Dr. A. Freiherr von Hübl. 4. Aufl. Mit 40 Abbildungen und 4 Tafeln. 4,50, gebunden 5,20.

Die Farbe als wissenschaftliches und künstlerisches Problem. Die Grundlagen der Farbenlehre für Künstler und Kunstgewerbler. Von Prof. Dr. L. Richtera. Mit 57 Abbildungen. 3,40, gebunden 4,20.

Die Herstellung von Büchern, Illustrationen, Akzidenzen usw. Von Reg.-Rat Prof. A. W. Unger, Wien. 3. Auflage. Mit 231 Abbildungen, 10 Beilagen und 87 Tafeln. 16,—, in Halbleinen geb. 18,70, in Ganzleinen geb. 19,20.

Der Offsetdruck. Von K. Gnoth. Mit zahlreichen ein- und mehrfarbigen Illustrationen. Gebunden 4,50.

SLUB Wir führen Wissen.
gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Verlag von Wilhelm Knapp, Halle (Saale).

Hand- und Maschinenschriftsatz. Von Dr. R. A. Winkler. 6,40.

Die Rohstoffe der graphischen Druckgewerbe. Von Hofrat Professor E. Valenta.

Band I: **Das Papier,** seine Herstellung, Eigenschaften, Verwendung in den graphischen Drucktechniken, Prüfung usw. 2. Auflage. Mit 120 Abbildungen. 8,60, gebunden 9,60.

Band II: **Fette, Harze, Firnisse, Ruß, schwarze Druckfarben** und verschiedene andere in den graphischen Druckgewerben verwendete Materialien (lithographische Tinten, Tusche, Kreiden, Walzenmassen-Feuchtwasser, Drucktinkturen, Lacke, Umdruck-, Deck- und Stempel, farben usw.). Mit 88 Abbildungen. 15,20, gebunden 17,—.

Band III: **Die bunten Druckfarben.** Mit 48 Abbildungen. 9,70, gebunden 11,80.

Die Photoglyptie oder der Woodbury-Druck. Nach dem Französischen übersetzt. Von L. Vidal. Mit 24 Abbildungen. 4,50.

Die manuellen graphischen Techniken. Zeichnung, Lithographie, Holzschnitt, Kupferstich und Radierung, sowie die verwandten graphischen Verfahren des Hoch-, Flach- und Tiefdruckes. Von W. Ziegler.

Band I: **Die Schwarz-Weißkunst.** 4. Auflage. Mit 125 Abbildungen. 9,80, gebunden 10,80.

Band II: **Die manuelle Farbengraphik.** 2. Auflage. Mit 10 Abbildungen und Tafeln. 5,50, gebunden 6,50.

Jahrbuch für Photographie, Kinematographie und Reproduktionsverfahren für die Jahre 1921–1927

Unter Mitwirkung hervorragender Fachleute herausgegeben von
Hofrat Prof. Dr. J. M. Eder und Kustos E. Kuchinka

Dreißigster Band. Der umfangreiche Band umfaßt 3 Teile:

Teil I. Mit 286 Abbildungen. Teil II. Mit 84 Abbildungen.
Teil III. Mit 54 Abbildungen.

Jeder Teil kostet 19,— RM. In Ganzleinen gebunden 21,— RM.

Teil III enthält das Gesamtregister

Als einziges Nachschlagewerk und als die so notwendige Zusammenfassung alles Wissenswerten auf diesem großen Gebiete erscheint das Jahrbuch nun schon seit 30 Jahren.

SLUB Wir führen Wissen. gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

Verlag von Wilhelm Knapp, Halle (Saale).

Film für Alle

Monatsschrift für Amateurkinematographie.

Schriftleitung A. Kraszna-Krausz, Berlin.

IV. Jahrgang. Preis vierteljährlich RM. 2.25.

„FILM FÜR ALLE“, das erste selbständige Monatsblatt für Amateurkinematographie außerhalb Amerikas vermittelt in belehrendem und unterhaltendem Text die Elemente des Filmens an jedermann, gibt Anleitung für erfolgversprechendes Arbeiten und bahnt so Verbindungen zwischen den Amateuren über die Landesgrenze hinaus an.

Jedes Heft enthält ein drehfertiges Manuskript. Nach Anleitungen zu ernster Arbeit folgen Aufsätze fachlich-unterhaltender Art und technische Aufsätze aus dem Filmschaffen geben reiche Anregung.

Winke, Ratschläge und Bastelrezepte für die Praxis, Vermittlung von Tauschgelegenheiten, sowie zum Ankauf und Verkauf von Amateurfilmen vervollständigen das vielseitige Programm.

„FILM FÜR ALLE“ ist die moderne, unübertroffen lebendige Zeitschrift des Kinoamateurs, die auch Sie zum erfolgreichen Filmer machen will.

Photographische Rundschau und Mitteilungen

67. Jahrgang.

Schriftleiter: **P. Hanneke,** Prof. Dr. **R. Luther, H. Kühn, F. Matthies-Masuren.**

Die führende und älteste Zeitschrift für Freunde der Photographie, deren Inhalt ebenso auf Fortgeschrittene wie auf Anfänger eingestellt ist. In ihrem bildlichen Teil steht die „Rundschau“ unübertroffen da. Monatlich erscheinen 2 Hefte in vornehmster Ausstattung mit vielen Kunstdrucktafeln. Der Text behandelt alle für den Liebhaberphotographen wichtigen neuen Verfahren und Apparate sowie künstlerische Fragen in Artikeln hervorragender Fachschriftsteller. Ein Fragekasten bietet wertvolle praktische Belehrung. Der in jedem Heft erscheinende Anhang „Mitteilungen für Anfänger“ sowie die Beilage „Kinematographische Rundschau“ haben ganz besonderen Anklang gefunden. Die „Rundschau“ ist unentbehrlich für jeden vorwärtsstrebenden Amateur.

Bezugspreis vierteljährlich 4,20. Probehefte kostenfrei.

Gebühr für Verpackung und Versendung im Inland: 10 Pfennig.
Bei Kreuzbandzustellung wird das entstehende Porto berechnet.

SLUB Wir führen Wissen.

gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG

SLUB DRESDEN
3 0453526

SLUB
Wir führen Wissen.
gefördert von der
Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG